

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Studium sklokeramických povlaků pro použití
v biologickém prostředí**

Study of the Glass Ceramics Coatings for Use in Biological
Environment

Student:

Daniela Pavelková

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2011



VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Daniela Pavelková**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Specializace: 70 Strojírenská technologie
Téma: **Studium sklokeramických povlaků pro použití v biologickém prostředí**
Study of the Glass Ceramics Coatings for Use in Biological Environment

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti a výrobu sklokeramických povlaků.
2. Prostudujte možnosti použití sklokeramických povlaků v biologickém prostředí.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Provedte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu v rozsahu minimálně 25 stran.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.


BOUŠE, V. a kol: *Smalty a jejich použití v protikorozi ochraně*. SNTL, Praha, 1986. 216 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty



PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych zde poděkovala lidem, bez jejichž pomoci by tato práce nevznikla. Především děkuji svým rodičům, kteří za mnou po celou dobu studia stáli a podporovali mne.

Dále děkuji Ing. Vratislavu Bártkovi, za rady a pomoc při vykonávání experimentálních prací, konzultace, připomínky a poskytnutí materiálů.

Obzvláště děkuji doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc., za cenné rady a trpělivost při vedení mé práce.



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě *23.5. 2011*

Daniela Pavelková
.....
podpis studenta

**Prohlašuji, že**

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

23.5. 2011

Daniela Pavelková

Daniela Pavelková

Daniela Pavelková

ČSA 723

738 01 Frýdek-Místek



ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PAVELKOVÁ, D. Studium sklokeramických povlaků pro použití v biologickém prostředí: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2011, 136 s., vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Bakalářská práce se zabývá studiem sklokeramických povlaků, volbou vhodné smaltéřské suspenze, která po nanesení na základní materiál a následném vypálení vytvoří na povrchu vhodné podmínky pro použití v biologickém prostředí. V úvodu pojednává o vlastnostech sklovitých smaltových povlaků a popisuje technologický postup výroby a aplikace smaltů na zkušební vzorky. Značná část je věnována vlivu biologického prostředí na jejich vlastnosti. Biologickým prostředím se stal fyziologický roztok o koncentraci 9 g soli na 1 l vody. Návrh metodiky prací a výsledky provedených zkoušek jsou uvedeny formou grafů, tabulek a fotografií. V závěru jsou zaznamenány výsledky experimentů a jejich hodnocení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

PAVELKOVÁ, D. Study of the Glass Ceramics Coatings for Use in Biological Environment. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2011, 118s., Advisor bachelor thesis: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

The bachelor thesis deals with the study of glass ceramics coatings, the choice of appropriate enamel suspension, which when applied to the base material and then burn on the surface creates conditions suitable for use in biological environments. The introduction discusses the properties of vitreous enamel coatings and describes the technological process of production and application of enamels on the test samples. A significant part is devoted to the influence of biological environment on their properties. Saline at a concentration of 1 liter of water 9 g of salt was chosen as the biological environment. Suggested methods of work and the results of the tests are given in the form of graphs, tables and photographs. In conclusion are the reported results of experiments and their evaluation.



Seznam použitých značek a symbolů

Veličina	Popis
SiO_2	oxid křemičitý
Al_2O_3	oxid hlinitý
TiO_2	oxid titaničitý
ZrO_2	oxid zirkoničitý
Na_2O	oxid sodný
CaO	oxid vápenatý
LiO_2	oxid litia
PbO	oxid olovnatý
CeO_2	oxid ceričitý
Ra	střední aritmetická úchylka profilu [μm]
lr	základní délka [mm]
Rz	největší výška profilu [μm]
Zp	výška výstupku profilu [μm]
Zv	hloubka prohlubně profilu [μm]
Rp	největší výška výstupku profilu [μm]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu [μm]
Rq	průměrná kvadratická úchylka profilu [μm]
Rsk	šíkmost posuzovaného profilu [μm]
Rku	špičatost posuzovaného profilu [μm]
pH	stupnice kyselosti a zásaditosti
T	teplota [$^{\circ}\text{C}$]
Ti	titan

**Seznam použitých značek a symbolů**

Veličina	Popis
O	kyslík
Al	hliník
Na	sodík
Si	křemík
P	fosfor
Ca	vápník
Cl	chlór
K	draslík
Cr	chrom
Fe	železo
Mg	hořčík



OBSAH

ÚVOD.....	12
1. HISTORIE.....	13
2. SKELNÉ A KRYSTALICKÉ POVLAKY.....	13
2.1. Definice smaltů.....	13
2.2. Druhy sklovitých smaltových povlaků.....	13
2.2.1. Základní smalty.....	14
2.2.2. Krycí smalty.....	14
2.2.3. Jednovrstvé (přímé) smalty.....	14
2.2.4. Smalty na ocelový plech.....	14
2.2.5. Smalty na šedou litinu.....	15
2.2.6. Smalty na neželezné kovy.....	15
2.3. Fyzikální vlastnosti smaltů.....	15
2.4. Korozní vlastnosti smaltů.....	16
2.5. Tepelné vlastnosti smaltů.....	16
2.6. Mechanické vlastnosti smaltů.....	17
2.7. Optické vlastnosti smaltů.....	17
2.7.1. Barevná charakteristika smaltů.....	17
2.7.2. Lesk smaltu.....	18
2.7.3. Zákal smaltu.....	18
2.8. Chemické vlastnosti smaltů.....	18
2.8.1. Odolnost smaltů v kyselém prostředí.....	18
2.8.2. Odolnost smaltů v alkalickém prostředí.....	19
2.8.3. Odolnost smaltů v prostředí horké vody a páry.....	19
2.8.4. Odolnost smaltů v agresivních atmosférách.....	19
2.8.5. Odolnost proti roztokům pracích prášků.....	20
2.8.6. Zdravotní nezávadnost smaltů.....	20
3. TECHNOLOGICKÝ POSTUP SMALTOVÁNÍ.....	21
3.1. Předúprava povrchu.....	21
3.2. Příprava smaltéřské suspenze.....	23
3.3. Nanášení smaltu.....	23
3.3.1. Nanášení smaltového povlaku za mokra.....	24
3.3.1.1. Stékací metoda nanášení.....	25
3.3.1.2. Stříkací metody nanášení.....	26
3.3.1.3. Metoda elektroforetická.....	27
3.3.2. Nanášení smaltového povlaku za sucha.....	27



3.4. Sušení smaltů.....	28
3.4.1. Sušení na volném vzduchu.....	28
3.4.2. Sušení v sušárnách.....	28
3.5. Vypalování smaltů.....	29
4. DRSNOST.....	31
4.1. Drsnost povrchu - základní pojmy a vysvětlení veličin Ra, Ry, Rz.....	31
4.1.1. Střední aritmetická úchylka profilu Ra.....	32
4.1.2. Aritmetický průměr Ry.....	33
4.1.3. Největší výška profilu Rz.....	33
4.1.4. Průměrná kvadratická úchylka profilu Rq.....	34
4.1.5. Největší výška výstupku Rp a největší hloubka prohlubně Rv.....	34
4.1.6. Šikmost posuzovaného profilu Rsk.....	34
4.1.7. Špičatost posuzovaného profilu Rku.....	35
4.2. Metody měření drsnosti povrchu.....	36
5. VHODNOST SMALTŮ PRO KONTAKT S BIOLOGICKÝM PROSTŘEDÍM.....	37
5.1. Interní biokeramika.....	37
5.2. Resorbovatelná biokeramika	37
5.3. Bioaktivní materiály.....	37
6. BIOAKTIVNÍ TITAN.....	40
7. TITAN V DENTÁLNÍ IMPLANTOLOGII.....	42
8. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	44
8.1. Měření drsnosti povrchu.....	45
8.2. Mikroskopická analýza povrchu vzorku SEM.....	45
9. PROVEDENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	46
9.1. Materiál zkušebních vzorků.....	46
9.2. Odmaštění zkušebních vzorků.....	47
9.3. Měření drsností smaltů.....	48
9.4. Smaltování zkušebních vzorků.....	48
9.4.1. Technologický postup tvorby smaltového povlaku.....	48
9.4.2. Použité druhy sklovitého povlaku.....	49
9.4.3. Nanášení smaltového povlaku.....	49
9.4.4. Vypalování sklovitého smaltu.....	50
9.5. Měření granulometrie použitých jííl a kaolínů.....	51
9.6. Aplikace vzorků do prostředí biologického média.....	52
9.7. Mikroskopická analýza povrchu vzorku SEM.....	52
10. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	53
10.1. Vyhodnocení měření drsností základních materiálů.....	53



10.2. Vyhodnocení měření drsností vypálených vrstev smaltů.....	57
10.3. Vyhodnocení měření drsností po vytažení z fyziologického roztoku.....	63
10.4. Grafické zhodnocení rozdílů drsnosti povrchu sklokeramických povlaků před ponorem do fyziologického roztoku a po vytažení.....	69
10.5. Vyhodnocení měření granulometrie použitých jíílů a kaolínů.....	74
10.5.1. Výsledky analýzy na vzorku kaolín T3.....	75
10.5.2. Výsledky analýzy na vzorku kaolín T4.....	76
10.5.3. Výsledky analýzy na vzorku jemný jíl Fero.....	77
10.5.4. Výsledky analýzy na vzorku jemný jíl MiC.....	78
10.6. Vyhodnocení mikroskopické analýzy povrchu vzorku pomocí SEM	79
10.6.1. Mikroskopická analýza - Základní smalt + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V... ..	79
10.6.2. Mikroskopická analýza - Základní smalt + kaolín T4 na vzorku Ti.....	84
10.6.3. Mikroskopická analýza - Základní smalt + kaolín T3 na vzorku Ti.....	89
10.6.4. Mikroskopická analýza - Základní smalt + kaolín T3 na vzorku Ti6Al4V.....	94
10.6.5. Mikroskopická analýza - Základní smalt + jemný jíl MiC na vzorku Ti.....	99
10.6.6. Mikroskopická analýza - Základní smalt + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V... ..	104
10.6.7. Mikroskopická analýza - Nerezový plech.....	109
11. ZÁVĚR.....	114
12. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	115
13. SEZNAM PŘÍLOH.....	117
14. PŘÍLOHY.....	119



Úvod

Technologie smaltování byla používána již ve starověkých zemích dálného východu. V 5. až 7. století dorazila i do Evropy. Smaltování se využívalo především jako zdobící prvek na šperky, nejčastěji se však jedná o povrchovou úpravu kovů litin, plechů, za účelem ochrany proti korozi a povětrnostním vlivům.

V současné době mají smalty velký význam v zubním lékařství při metalokeramice, kdy je zubní náhrada, zhotovena z kovu, tavením pokryta vrstvou dentální keramiky. Smalty jako povrchové úpravy mají široké pole působnosti v celém průmyslu. Mezi jednotlivé odvětví patří automobilový, chemický, potravinářský průmysl a mnoho dalších.

Využívá se příznivých vlastností smaltů, jako jsou vysoká odolnost proti korozi v organických kyselinách, vysoká tvrdost, malá tepelná vodivost a odolnost proti otěru. Nicméně musíme brát ohled na jejich nevýhody, mezi které patří křehkost a nízká pevnost v tahu.

Titan a jeho slitiny jsou vhodné pro výrobu zubních implantátů. Jsou zpravidla přijímány lidským tělem bez komplikací, alergie se na něj prakticky nevyskytují. Nevyužívají se pouze pro farmaceutické účely, ale také pro kontakt s lidským organismem. Tyto materiály musí splňovat zdravotní nezávadnost a vykonávat požadavky na ně kladené. Hladký titan můžeme považovat za bioinertní materiál, u něhož dochází k opouzdření měkkou tkání. Po dlouhé době a za určitých podmínek je schopen vytvořit přímý kontakt s kostí.

Případná povrchová úprava pomocí sklokeramických materiálů by mohla zaručit zdravotní nezávadnost implantátu a zajistit tak vytvoření bioaktivity. Bioaktivita je v podstatě schopnost materiálu tvořit pevnou vazbu s živou tkání. Je tedy nutné prozkoumat chování sklokeramických materiálů v biologickém prostředí a vyhledat nové poznatky, které by zaručily jejich spolehlivost a funkčnost.



1 Historie

V českých zemích je použití smaltu zaznamenáno na českých korunovačních klenotech a také na kříži Přemysla Otakara II. Smalt jako povrchová úprava se použila v 19. století. Nejdříve se smaltovaly železné nádoby na vodu, pak také pekáče, kýble, dokonce celé litinové vany na koupání. Smaltované nádoby velmi dobře odolávaly rzi a bylo možné je zdobit keramickými barvami. Smalt se nanášel sypaním suchého smaltu sítkem nebo později se namáčel do mokré smaltové kaše, což byl vlastně vířený smaltový pudr ve vodě. Před každým vypálením se musel smalt pečlivě vysušit. [4]

2 Skelné a krystalické povlaky

Sklovité a keramické povlaky chrání podkladový materiál před vlivy okolního prostředí. Jde o smalty a glazury na bázi silikátových skel, také o keramické povlaky, které jsou obvykle nanášeny žárovým stříkáním na nekovový nebo kovový materiál. Pojem glazura se používá pro povlaky na keramickém podkladě, smalty jsou povlaky na kovových výrobcích. Smalty a glazury jsou nanášeny v podobě vodních suspenzí sklovitých fází. Další možností je nanášení práškových částic a vypalováním vznikne sklovitý povlak. [1]

2.1. Definice smaltů

„Smalt je svou podstatou, jakož i způsobem výroby sklo poměrně komplikovaného chemického složení, které se nanáší na kovový podkladový materiál.“ [3]

2.2. Druhy sklovitých smaltových povlaků

Jednou ze základních složek pro přípravu smaltového povlaku je smaltéřská frit. Chemické složení frity ovlivňuje vlastnosti sklovitých smaltových povlaku. Smalty se dělí podle složení a podle druhu kovu na:

- smalty na ocelový plech
- smalty na šedou litinu
- smalty na neželezné kovy

V současnosti patří mezi nejpoužívanější právě smalty na ocelový plech a šedou litinu. Sklovité smaltové povlaky podle jejich funkce dělíme na základní, krycí a jednovrstvé.

2.2.1. Základní smalty

Vytvoření přídržné mezivrstvy mezi smaltovaným povlakem a kovem, je základním znakem těchto smaltů. Většinou jde o smalty, které se nepoužívají jako funkční povlaky. Při použití konvenčního způsobu smaltování se využívá dvouvrstvý systém povlaku. Po nanesení a vypálení základního smaltu dochází k nanesení krycího smaltu, který je znova vypálen. Vypalovací teplota základního smaltu je vyšší než teplota vypalování krycího smaltu cca o 20-40 °C. Tloušťka vrstvy sklovitého smaltového povlaku má být po vypálení co nejmenší, pohybuje se v rozsahu od 80 – 120 µm. [3]

2.2.2. Krycí smalty

Oproti základnímu smaltu je krycí smalt funkčním povlakem, který je nositelem požadovaných vlastností povlaku. Podle typu použité frity se krycí smalty dělí na smalty zakalené a smalty transparentní.

Smalty zakalené, bílé nebo barevné. Při procesu úpravy frit ve smaltovně se nepřidávají kalící nebo barvicí přísady. Zatímco u polotransparentních se provádí částečná úprava suspenze při mletí. Optické vlastnosti smaltů transparentních se upravují přísadami na mlýně a to například přidávkou barvicích oxidů. [1]

2.2.3. Jednovrstvé (přímé) smalty

Smalty jednovrstvé jsou speciálním typem smaltů základních nebo krycích, u kterých se složení frity upravuje tak, aby při nanášení na ocelový plech byla zajištěna požadovaná přídržnost ke kovu a také aby funkční vlastnosti odpovídaly požadavkům na povlak. [3]

2.2.4. Smalty na ocelový plech

Mezi běžné technologie smaltování oceli patří aplikace dvouvrstvého systému, tj. základního smaltu a krycího smaltu. Jednovrstvé smaltování patří mezi velmi efektivní, při tomto postupu je funkční smalt přizpůsoben pro přímé natavení na kov. Tímto se zajišťuje zvýšení hospodárnosti, snížení spotřeby materiálu a energie. V některých případech jde dokonce i o zlepšení funkčních vlastností. [2]

2.2.5. Smalty na šedou litinu

Při této technologii se využívá schopnosti smaltového povlaku zaplňovat nerovnosti povrchu vzniklé mechanickým otryskáváním. Z důvodu velmi dobré adheze není ve smaltech na litinu nutné použití přídržných oxidů. Ve srovnání se smalty na ocel se nanáší větší tloušťka nánosu, aby se dosáhlo celistvých, hladkých povlaků.

Smalty na litinu se připravují slinováním nebo tavením. Z chemického hlediska jsou smalty na litinu jednodušší. Vypalovací interval se pohybuje v rozsahu od 700 až do 900 °C. V minulých letech se k dosažení hladkého a vysoce celistvého povlaku skloviny natavené přímo na kov používaly olovnaté smalty. Nyní je jejich použití z hygienických a zdravotních důvodů nepřijatelné. [2]

2.2.6. Smalty na neželezné kovy

Nejčastěji se smaltuje hliník a jeho slitiny. Z důvodu velkého koeficientu teplotní roztažnosti hliníku musíme volit složení smaltů tak, aby se u povlaku dosahovalo podstatně vyšších koeficientů teplotní roztažnosti a nižších teplot vypalování než u smaltů na ocel se zřetelem na bod tání hliníku. Do jisté míry se tímto zmenšuje chemická odolnost, neboť obsah sklotvorných oxidů, zejména SiO_2 , nesmí být velký.

Vypalovací teplota smaltů na hliník a jeho slitiny se pohybuje v rozmezí od 500 až 550 °C a tloušťka nánosu bývá do 100 μm . Mezi speciální typy smaltů na hliník patří povlaky na hliníkem metalizovanou ocel. Hodnota koeficientu teplotní roztažnosti je menší než u smaltů na hliník. Teplota vypalování se pohybuje v rozsahu od 650 až do 700 °C. Tloušťka nánosu bývá do 150 μm . [2]

2.3. Fyzikální vlastnosti smaltů

Jsou dány z vlastností jejich jednotlivých složek. Musíme však vzít v potaz to, že mezi fyzikálními vlastnostmi samotného smaltu a vlastnostmi sklovitého smaltového povlaku není přímá závislost. V procesu tepelného zpracování povlaku dojde k vzájemnému působení podkladového kovu a nataveného smaltu, čímž dochází ke změně chemického složení, struktury a také vlastností smaltu. Jedná se o fáze, které jsou navzájem v přímém kontaktu, tedy o vznikající adhezní mezivrstvu. [3]

Významné fyzikální vlastnosti smaltů:

- celistvost smaltového povlaku
- přidržnost smaltu ke kovu
- mechanické vlastnosti
- termické vlastnosti
- optické vlastnosti
- elektrické vlastnosti

2.4. Korozní vlastnosti smaltů

Mezi základní příznivé vlastnosti sklovitých smaltů patří vysoká chemická odolnost. Napadení smaltových povlaků korozi je důsledkem především chemických procesů a dochází k jejich vyluhování nebo rozpouštění. Odolnost smaltů proti roztokům minerálních kyselin je do velké míry ovlivňována schopností hydrolyzy a rozpustnosti součástí smaltu. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , LiO_2 , CeO_2 zvyšují kyselinovzdornost smaltů, naproti tomu oxidy Na_2O , PbO , CaO kyselinovzdornost značně snižují. Alkalické roztoky značně napadají smalty, které štěpí síť SiO_4 , v důsledcích čehož přechází sklo do roztoku.

Odolnost sklovitých smaltových povlaků proti působení vody závisí na rychlosti reakce, při které dochází k výměně iontů alkalických kovů Me^+ a H^+ . Větší korozní odolnosti smaltů můžeme dosáhnout u povlaků, které obsahují ve sklovité fázi určitý podíl krystalické fáze. [3]

2.5. Tepelné vlastnosti smaltů

Mezi tepelné vlastnosti smaltů patří tepelná vodivost, která se při teplotě 313 K pohybuje v rozmezí od $0,093 - 0,114 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a závisí na množství pórů v povlaku. Další důležitou vlastností smaltu je jeho tepelná roztažnost. Abychom mohli určit součinitele teplotní roztažnosti smaltu, byly vytvořeny faktory parciálních vlivů jednotlivých komponentů smaltu. Alkálie a fluoridy zvyšují součinitel teplotní roztažnosti naproti tomu oxid křemičitý, hořečnatý, boritý jej značně zvyšují. Tepelná roztažnost kovů, na které je smalt nanesen, musí být vyšší než tepelná roztažnost smaltu, čímž se vyloučí tahová napětí ve smaltovém povlaku. Teplotní průběh roztažnosti obou materiálů je důležitý pro vznik napětí v systému kov – smalt. Z hlediska tepelné odolnosti povlaků, běžné smalty snášejí teploty v rozmezí 400-500 °C. [3]

Mezi termické vlastnosti patří:

- odolnost proti vysokým a nízkým teplotám
- odolnost proti náhlým změnám teploty
- tepelná vodivost [2]

2.6. Mechanické vlastnosti smaltů

Charakteristickým znakem sklovitých a keramických materiálů je nízká úroveň lomové houževnatosti. Pevnost v tahu se u sklovitých smaltů pohybuje v rozsahu od 70-90 MPa, pevnost v tlaku v rozmezí 700-1300 MPa. Z tohoto ohledu je velmi důležité při navrhování složení kmene brát v úvahu nejen prostředí, ve kterém bude povlak pracovat, ale také podkladový materiál a jeho vlastnosti, na který se povlak nanáší. Malá pohyblivost nebo manévrovatelnost dislokací jsou hlavní příčinou snadného šíření trhlin v keramických materiálech. Rovněž na vznik trhlin má vliv vnitřní pnutí vznikající působením rozdílnosti tepelné roztažnosti. [3]

Základní mechanické vlastnosti:

- hustota
- tloušťka povlaku
- pevnost v tahu a tlaku
- pružnost
- odolnost proti mechanickému nárazu
- mechanické napětí v systému kov-smalt
- tvrdost smaltu
- odolnost proti abrazi [2]

2.7. Optické vlastnosti smaltů

2.7.1. Barevná charakteristika smaltu

Smaltový povlak má neomezené možnosti využití barevných odstínů. Zabarvení smaltů nám umožňuje přidání barvicích oxidů při tavbě frity nebo v průběhu mletí suspenze. Abychom určili barevné vlastnosti, jsou podle Mezinárodní komise pro osvětlení důležité tři veličiny, a to: trichromatické souřadnice x, y a světlost Y. [2]



2.7.2. Lesk smaltu

Rozdělení podle lesku smaltu:

- lesklé
- matové
- polomatové

Leskoměrem nebo vizuálně posuzujeme lesk smaltu. Galvanometrem zaznamenáváme účinky paprsků světla, které se odrážejí od smaltovaného vzorku a dopadají na fotoelektrický článek. Stupeň lesku je ovlivňován chemickým složením smaltu, zejména na obsahu oxidu boritého a alkálií a na stupni vypálení. [2]

2.7.3. Zákal smaltu

Přísadou kaliv ovlivňujeme zákal smaltu. Mezi nejobvyklejší typ zakalených smaltů patří princip zákalu titaničitých smaltů. Pro měření se používá, přístroj Momcolor, který stanovuje světlost nebo fotovoltreflektometr. [2]

2.8. Chemické vlastnosti smaltů

2.8.1. Odolnost smaltů v kyselém prostředí

Dle chemické odolnosti rozdělujeme smalty na:

- smaltové povlaky pro běžné spotřební zboží
- smaltové povlaky se střední chemickou odolností
- smaltové povlaky s velkou chemickou odolností

Mezi základní vlastnosti smaltů, patří odolnost proti kyselinám, která nám udává životnost povlaku v daném prostředí. Podle volby smaltů rozdělujeme zkušební metody na zkoušky za studena a zkoušky za zvýšené teploty, nejčastěji za varu. Pro komerční smalty stanovujeme odolnost v prostředí citronové kyseliny. Podstata je založena na působení 10% roztoku citronové kyseliny za studena na vzorek vypáleného smaltu. Expoziční doba se pohybuje okolo 15 minut. Parametrem pro hodnocení je úbytek lesku nebo barevná změna. Filtrační papír navlhčený ve zkušebním roztoku působí na smaltovaný předmět. Smalty využívané pro varné nádobí jsou

zkoušeny v prostředí kyseliny octové, pro smalty o velké chemické odolnosti je předepsána zkouška v prostředí kyseliny chlorovodíkové za varu. [2]

2.8.2. Odolnost smaltů v alkalickém prostředí

Odolnost proti alkáliím je hlavním ukazatelem životnosti smaltových povlaků v alkalickém prostředí a do menší míry také v prostředí horké vody a pracích prášků. Smalt má malou odolnost v alkalickém prostředí. Zejména se jedná o roztoky s velkou hodnotou pH za vysokých teplot. Při nižších teplotách a méně koncentrovaných alkáliích, mají smaltované povlaky poměrně dobrou odolnost.

Zkoušení roztokem uhličitanu sodného za studena nebo za zvýšené teploty se provádí na méně odolné smalty. Smalty odolnější vůči alkáliím se zkoušejí v prostředí roztoku hydroxidu sodného při teplotách 80 °C. [2]

2.8.3. Odolnost smaltů v prostředí horké vody a páry

Smalty, které se vyznačují vysokou odolností v prostředí horké vody a páry jsou zároveň velmi odolné proti kyselinám a alkáliím. Pitná a užitková voda nepůsobí agresivněji než voda destilovaná. Rychlost hydrolýzy smaltu stanovuje zkušební metoda. Hydrolýza je určujícím faktorem koroze v tomto prostředí.

Metoda má několik modifikací respektujících skutečnost, že hodnota pH působící vody se v průběhu zkoušky neustále zvyšuje. Tento proces nám tedy zajišťuje částečnou pasivaci procesu a ta vede k výměně zkušební roztoku po určitých časových intervalech. [2]

2.8.4. Odolnost smaltů v agresivních atmosférách

Stejně jako při působení vody vykazují při expozici ve vnější atmosféře velkou životnost smalty, které jsou odolné jak proti kyselinám, tak proti alkáliím. Modelové zkoušky slouží pro sledování vhodnosti určitého typu pro určité prostředí. Mezi agresivní složky patří například nepříznivé účinky slunečního záření, vody, větru, prachových částic, vlhkosti vzduchu, změny teplot a mnoho dalších. [2]



2.8.5. Odolnost proti roztokům pracích prášků

Odolnost smaltů proti působení roztoků pracích prostředků je velmi důležitá u součástí, jako jsou pračky, koupací vany a dřezy. Prací prostředky jsou odlišné svým složením a to nám ovlivňuje rozdíly odolnosti jednotlivých smaltů. [2]

2.8.6. Zdravotní nezávadnost smaltů

Smalty, které přicházejí do kontaktu s pitnou vodou, potravinami nebo krmivy musí být zdravotně nezávadné. Danou nezávadnost zajišťuje norma ČSN 94 5050, která stanovuje přípustnou hranici povoleného množství zdraví škodlivých prvků ve smaltových plochách. Maximální povolené množství koncentrace zdraví škodlivých prvků v octovém výluhu na 1 dm² zkoušené smaltované plochy:

- zinek – 0,80 mg
- olovo – 0,03 mg
- baryum – 0,25 mg
- arsen – 0,015 mg
- kadmium – 0,005 mg
- antimon – 0,200 mg

Výluh je připravován varem 4%ní octové kyseliny po dobu jedné hodiny. Jestliže se jedná o případ antimonu, jde o 3%ní vinné kyseliny po dobu 30 minut. [2]

3 Technologický postup smaltování

Technologií smaltování se zhotovuje smaltový povlak na podkladový materiál. Složitost tohoto procesu je dána značně rozdílnými vlastnostmi kovu a sklovitého povlaku. Jde o tepelnou povrchovou úpravu. Musíme uvážit i rozdílný průběh teplotních závislostí změn fyzikálních a chemických vlastností obou fází systému kov-smalt.

Smaltování je typické jednotlivými operacemi, které na sebe chronologicky navazují. Výsledkem takto seřazených operací je pevné spojení obou fází systému při vyhovující kvalitě smaltového povlaku na příslušném podkladovém kovu. [2]

3.1. Předúprava povrchu

Výroba povlaků na kovových podkladech je velmi složitý fyzikálně chemický děj. Podmínkou kvality této ochrany záleží především na pevném spojení obou fází, tj. kovu a smaltové vrstvy a také celistvost povlaku. Důležitým předpokladem pro splnění těchto podmínek je kvalita vstupních materiálů. I při procesu smaltování patří mezi důležité části procesu právě příprava povrchu kovu. Značná míra této operace má vliv na úspěšnou realizaci protikorozi ochrany, která bývá vyšší než u jiných metod. Účelem povrchové předúpravy je odstranění nečistot, jako jsou tuky, oleje, minerální látky, okuje apod. Tato operace spolu s vlastnostmi kovu a smaltu určuje průběh reakcí, které provází spojení smaltu s kovovým podkladem.

Povrchové předúpravy se dělí na: chemické a mechanické, známe však také tepelně mechanické a tepelně chemické, které se používají jen ojediněle vzhledem k vysokým energetickým nárokům.

Chemická předúprava se velmi zřídka používá při smaltování ocelových výrobků o tloušťce podkladového kovu do 3 mm. Mezi chemické povrchové úpravy patří:

- odmašťování
- moření
- niklování
- neutralizace s pasivací

Odmašťováním se povrch výrobku zbavuje mastnot, tuků, olejových nečistot. Většinou se jedná o zbytky konzervačních olejů na povrchu plechů používaných při lisování výrobků. Tato úprava povrchu nám zajišťuje zvýšení přilnavosti materiálu k různým druhům povlaků a nátěrových systémů. Nejčastěji se používají 5 – 10%ní alkalické vodné roztoky. Prostředky pro odmašťování se nejčastěji dodávají v tuhých fázích. Stupeň znečištění výrobků mastnotami



nám udává koncentraci látek a teploty odmašťovacích lázní. Odmaštění je z hlediska časové náročnosti velmi obtížnou operací. Je také z celého procesu chemické předúpravy nejdůležitější.

Procesy odmašťování dělíme podle použitého prostředku na odmašťování:

- v alkalických roztocích
- v organických rozpouštědlech
- elektrolytickým odmašťováním
- v neutrálních roztocích
- emulzním odmašťováním
- opalováním
- vysokotlaké kapalinné odmašťování

Mechanické úpravy povrchu kovu zajišťují odstranění nečistot. Mezi které patří především okuje, rzi a případně mastnoty v menším rozsahu. Tyto nečistoty jsou k povrchu vázány mechanicky. Otryskávání je základním způsobem úpravy povrchu. Princip spočívá ve vrhání tryskacího materiálu velkou rychlostí proti povrchu součásti. Charakter otryskávaného povrchu nám určuje velikost, tvrdost, hmotnost, tvar zrna tryskacího prostředku. Tryskací materiál se volí dle několika základních hledisek, jakou jsou druh otryskávaného materiálu, tloušťka, znečištění povrchu. [2]

Mezi tryskací materiály patří:

- křemičitý písek,
- litinová drť,
- brusiva,
- sekaný drát,
- speciální materiály (drť z pecek, plastických hmot).

Rozdělení otryskání:

- pneumatické, jako poháněcí médium tryskacího materiálu se využívá energie stlačeného vzduchu
- hydraulické, jako poháněcí médium se užívá kapalina, nejčastěji voda
- mechanické, využívá se energie rotujících metacích kol [1]

3.2. Příprava smaltéřské suspenze

Smaltéřská suspenze neboli břecha je z fyzikálního hlediska brána za heterogenní mnohosložkový systém tuhých částic dispergovaných ve vodě. Při její přípravě používáme několik surovin, které jsou po semletí nositeli jejich vlastností. Tyto vlastnosti nám musí umožnit vytvoření rovnoměrné vrstvy suspenze na povrchu daného výrobku. Poté po vysušení a vypálení vzniká smaltový povlak, který má požadované vlastnosti.

Hlavní surovinou pro přípravu suspenze jsou smaltéřské frity. Barvítka, mletý křemen, kaliva a další přísady jsou složkami, jež se při vypalování účastní procesu tvorby sklovité vrstvy, rozhodují o jejich vlastnostech. Jíly a bentonity patří mezi rozhodující dispergované složky při přípravě suspenze. Tyto aktivní látky jsou nositeli reologických vlastností, které jsou dále upravovány v elektrolytu. Mezi disperzní prostředí patří voda. Ostatní látky používáme dle závislosti na typu smaltu a podle zvolené metody jejich nanášení. [2]

Suroviny pro výrobu smaltů:

Jíl – patří mezi plastické zeminy. Jedná se o přísadu, která udržuje rozemleté částice frity v suspenzním stavu a zabraňuje její sedimentaci. Používá se při technologii nanášení za mokra.

Skla – jsou amorfní, pevné, zpravidla anorganické látky. Většina skel je tvořena SiO_2 a dalšími oxidy. Od krystalických látek se liší tím, že jejich struktura není tvořena pravidelnou mříží a jejich fyzikální vlastnosti se mění v závislosti na teplotě. Vazby Si-O jsou iontově kovalentní o vysoké pevnosti. Tyto stavební skupiny mají periodické uspořádání a silnou vzájemnou vazbu na krátkou vzdálenost podobně jako krystaly, avšak nepravidelné prostorové uspořádání na velkou vzdálenost.

Keramika – pojmem keramika myslíme pevné anorganické nekovové polykrystalické látky připravené technologií slinování práškových surovin za vysokých teplot. Výroba vychází z používání jemných plastických zemin, jako je kaolín a různé jíly. Struktura keramiky je obecně polyfázová, polykrystalická, heterogenní.

Voda – je to jedna ze složek smaltéřské břechky. Při procesu mletí smaltéřské frity spolu s vodou a jílem dochází k zahájení fyzikálně chemických reakcí, které pokračují při skladování, až do doby nanesení a vysušení smaltéřské frity. Obsah vody se po semletí podle typu smaltu pohybuje v rozmezí od 30 - 45%. Podle obsahu vody ve smaltéřské fritě dochází ke změnám kvality sklovitého smaltového povlaku. [3]



3.3. Nanášení smaltu

Smaltová vrstva se vytváří různými technologickými metodami, které se od sebe liší způsobem přípravy smaltu před nanášením, případně fyzikálním principem mechanismu nanášení vrstvy smaltového povlaku. Efektivnost nanášení povlaku je závislá na určitých kritériích.

Těmito kritérii jsou:

- technická úroveň technologie smaltování
- velikost a tvar výrobků
- sériovost výroby

Metody nanášení obecně dělíme do dvou skupin:

- nanášení smaltového povlaku za mokra
- nanášení smaltového povlaku za sucha

Stav nanášené suspenze nebo prášku patří mezi hlavní kritéria tohoto rozdělení. [2]

3.3.1. Nanášení smaltového povlaku za mokra

Při technologii smaltování za mokra se nanáší smaltéřská suspenze, která je z hlediska chemického složení odlišná od složení smaltového povlaku. Nanesená suspenze se suší, čímž vznikne vrstva biskvitu, která po vypálení vytváří vrstvu smaltu. [2]

Metody nanášení smaltového povlaku, dělíme podle odlišnosti mechanismu vyvážení vrstvy:

- metodu stékací
- metodu stříkací
- metodu elektroforetickou



3.3.1.1. Stékačí metoda nanášení

Je to nejstarší způsob nanášení smaltového povlaku. Mezi hlavní přednosti stékačích metod patří minimální spotřeba smaltovacích materiálů.

Podrobnější rozdělení stékačích metod je:

- máčení
- polévání
- vakuové nanášení

Máčení

Nanášení suspenze na povrch výrobku se provádí pomocí ponořování. Po vynoření vznikne na povrchu výrobku rovnoměrná vrstva. Část suspenze, která není spojená s procesem vytváření vrstvy, je tokem odvedena ve směru působení gravitačních sil. Důraz je kladen na rovnoměrné odtékání suspenze z celé plochy výrobku. Metoda se převážně používá pro nanášení smaltů na výrobky tvarově jednoduché. Tento způsob se nazývá bodové stékaní. Je vhodné převážně pro ploché výrobky. [2]

Polévání

Metoda se využívá u výrobků složitějších tvarů, u kterých je náročnější manipulace jak s výrobkem, tak se suspenzí. Poléváním vytváříme rovnoměrné vrstvy. Mechanismus je v zásadě podobný jako u metody máčení. Metoda je náročnější na manipulační úkony. U některých výrobků poléváním nanášíme krycí smalt. Provádí se většinou ručně a je velmi namáhavá. Tato metoda vyžaduje odbornou kvalifikaci pracovníků. V posledních letech nastal velký pokrok při mechanizování nanášení smaltů u smaltovaného nádobí. [2]

Vakuové nanášení

Vakuové nanášení má se skupinou stékačích metod společný mechanismus vytváření rovnoměrné vrstvy. Použití hlavně k nanášení smaltů na vnitřní strany uzavřených dutých výrobků. Metoda je velmi náročná na manipulaci se suspenzí. Tyto problémy se řeší úpravou výrobků. [2]

3.3.1.2. Stříkací metody nanášení

Metody nanášení mají jiný mechanismus vytváření rovnoměrných vrstev na podkladovém kovu. Smaltéřská suspenze je nanášena pomocí vzdušného rozprašování tlakovou pistolí. V tlakové části pistole se vytváří kužel kapek, které dopadají na povrch výrobků. V důsledku vztlaku a dilatance tuhých částic dopadajících na smaltovaný povrch se vytvoří povlak. Na povrchu výrobku se zachycuje pouze část suspenze z kužele, která pokryje jeho plochu. Velmi důležitá je správnost nasměrování pistole tak, aby suspenze dopadala na všechny plochy výrobku. Při této operaci musíme dbát na vysoké kvalifikaci pracovníka. Mezi největší nevýhody patří vysoká spotřeba smaltů.

Při stříkání základních smaltů obsahující volný oxid křemičitý je velmi důležitá ochrana pracovníka před vdechováním rozptýlených tuhých částic suspenze. Tuto ochranu dosahujeme stříkáním v podtlakových kabinách. [2]

Rozdělení stříkacích metod:

- ruční nanášení stříkáním
- automatické stříkání
- elektrostatické stříkání

Ruční nanášení stříkáním

Suspenze v tlakové nádrži je přímo dopravována do nanášecí pistole. Aby suspenze zůstala v homogenním stavu, je zásobní nádrž vybavena míchadlem. Jestliže je výrobek opatřen vrstvou smaltu je přesunut do sušáren. Podstatná část smaltu se dostává do atmosféry, který způsobuje znečištění prostředí. Metoda se používá u výrobků, které požadují rychlou změnu druhu a barvy nanášeného smaltu. Ruční nanášení stříkáním má velké uplatnění v malosériové výrobě. [2]

Automatické stříkání

Metoda automatického stříkání je vhodná pro tvarově členité, velkorozměrové součásti. U některých výrobků je stříkání podporováno průmyslovými roboty. Vyřešením hygienických problémů této operace však dochází k velké spotřebě smaltů. Tato metoda oproti ručnímu nanášení nachází své uplatnění ve velkosériové výrobě. [2]

Elektrostatické stříkání

Tato metoda se začíná uplatňovat koncem šedesátých let. Elektrostatické stříkání se zejména orientuje na ploché výrobky s menšími požadavky na protikorozi odolnost smaltu. U automatizovaných linek dochází v důsledku působení elektrostatického pole ke snížení ztrát smaltů. Součástí nanášecí pistole je ionizační elektroda, která je spojena se zdrojem vysokého napětí. Ionizační elektroda uděluje záporný náboj dispergovaným částicím smaltéřské suspenze. Pohybovým impulsem se nabitě kapky stlačeného vzduchu přesunou do oblasti působení siločar elektrostatického pole a poté postupují směrem k povrchu výrobku. Velmi důležité je technické vybavení jako výkonné zdroje vysokého napětí a čerpadla. Smaltéřská suspenze se připravuje se speciálními reologickými vlastnostmi. Metoda je velmi náročná na provozní parametry. [2]

3.3.1.3. Metoda elektroforetická

Metoda se od všech předchozích liší jiným mechanismem vytváření vrstev. Vytvoření vrstev je založeno na funkci Coehnova zákona, podle kterého částice s menší hodnotou relativní permitivity než relativní permitivita vody, se ve stejnosměrném elektrickém poli nabíjejí záporně. K anodě směřují nabitě částice, na níž se vytvoří pórovitý povlak, který umožňuje pohyb dispergující fáze v opačném směru. Tato metoda se používá u tvarově složitých výrobků, umožňuje dosáhnout rovnoměrné vrstvy a dokonalé pokrytí. Mezi nevýhody spadá velká spotřeba energie a vody, vysoké náklady na technologické zařízení. Vhodná pro velkosériovou výrobu. [2]

3.3.2. Nanášení smaltového povlaku za sucha

Vytváření vrstev smaltového povlaku suchým způsobem. Nanášecí metody suchým procesem se užívají při smaltování litinových výrobků. Tento způsob nanášení je typický velkou spotřebou energie a smaltu. Mechanizace a automatizace je velmi náročná. Mezi nové způsoby smaltování patří nanášení prášků v elektrickém poli.

Rozdělení nanášení smaltového povlaku, dle charakteristiky děje:

- nanášení za tepla
- nanášení za studena

Mezi nanášení za tepla patří pudrování posypem a pudrování fluidací, kde se výrobky předehřívají na teplotu do 900 °C. Při této teplotě dochází k natavení částic prášku smaltu a poté se v kapalně fázi spojí.

Nanesení prášku za studena vychází z využití elektrického pole, kde dojde k nánosu vrstvy prášku pomocí klasického stříkání. Výhoda této metody nanášení je vznik velmi kvalitního povlaku a nízká spotřeba smaltovacích materiálů. [2]

3.4. Sušení smaltu

Všechny smalty, které byly naneseny mokrým způsobem, se před procesem vypalování musí vysušit. Sušení nám odstraňuje z nanesené vrstvy vodu, která by při vypalování mohla způsobit narušení vrstvy. Množství odpařené vody při sušení je závislé na vlastnostech nanášené smaltéřské suspenze. Podíl vody je minimálně 30% z celkové hmotnosti suspenze. Operace sušení má následovat ihned po nanášení, avšak tato operace bývá ve smaltovnách často podceňována. Struktura sušené vrstvy nám ovlivňuje teplotu a rychlost sušení. [2]

Rozdělení:

- sušení na volném vzduchu
- sušení v sušárnách

3.4.1. Sušení na volném vzduchu

Tento způsob sušení je jeden z nejstarších. V současnosti se sušení na volném vzduchu zavádí v souvislosti s energetickými úsporami. Tato metoda se používá, jsou-li k dispozici tzv. kapacitní dopravníky schopné uskladnit produkci jedné směny a je možnost vypalování smaltovaných výrobků v noční směně. Jako předúprava se na povrchu kovu vytváří niklová vrstva, která nám snižuje riziko výskytu koroze. Sušení se pohybuje v časovém intervalu 6 až 8 hodin. [2]

3.4.2. Sušení v sušárnách

Konstrukce zařízení pro sušení jsou rozmanitá. Dělíme je podle způsobu přenosu tepla na konvenční s ohřevem teplým vzduchem a radiační, u kterých se ohřev realizuje zářením. Teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí od 60 až po 130 °C, a doba sušení v intervalu od 15 až 20 minut. Radiační sušárny mají přenos tepla zabezpečen infračerveným zářením a doba trvání je 3 až 5 minut. [2]



Další důležité rozdělení je z hlediska konstrukce sušícího prostoru a mezioperační manipulace.

Sušárny jsou řešeny jako:

- komorové
- tunelové vratné a vertikální
- tunelové s přímou dráhou

3.5. Vypalování smaltů

Proces vypalování je závěrečnou operací smaltování, jehož výsledkem je vytvoření požadovaného sklovitého povlaku na kovovém podkladu. Vypalování je z fyzikálně chemického hlediska složitý proces. „Při vypalování základních smaltů jsou rozhodující reakce, jejichž výsledkem je pevné spojení obou fází. Vypalování krycího smaltu má vést k vytvoření smaltového povlaku požadovaných funkčních a estetických vlastností. Tyto děje probíhají při teplotách od 740 do 900 °C.” [2]

Základní podmínky definující vypalování smaltů:

- vypalovací teplota
- vypalovací doba
- vypalovací interval

Vypalovací teplota – nám určuje minimální teplotu, při které se ukončí všechny reakce související s vytvořením smaltového povlaku o požadovaných vlastnostech.

Vypalovací doba- je to nejkratší časový interval, který ukončí všechny reakce související s vytvořením požadovaného smaltového povlaku při určené vypalovací teplotě.

Vypalovací interval – je dán maximálním rozptylem teplot, při kterých docílíme požadovaných vlastností povlaku.



Vypalovací pece

Dle konstrukce dělíme pece na:

- vsázkové
- kontinuální

Dále podle paliva resp. energie na pece plynové, elektrické a olejové. Při výběru vypalovací pece je velmi důležitým požadavkem jejich výrobní kapacita, velikost a tvar výrobku, skladba výrobního sortimentu a typ smaltů. [2]

4. Drsnost

„Drsnost je souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě nebo jejím vlivem. Do drsnosti se nepočítají vady povrchu, tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rýhy, trhlinky, důlky apod.), a které vznikají vadami materiálu (poškozením, atd.)“ [7]

Drsnost posuzujeme v příčném nebo podélném směru podle převládajícího směru nerovností. Na skutečných profilech, které se získávají, jako průsečnice kolmé popř. šikmé roviny se skutečným povrchem jsou vyhodnocovány parametry drsnosti.

Drsnost povrchu ovlivňuje proces aplikace nátěrových systémů, je zde velmi nutné při velké drsnosti počítat s tzv. „mrtvým množstvím“ nátěrového systému a ovlivňuje kvalitní ukotvení nátěru v podkladovém substrátu.

Struktura povrchu se dělí na jednotlivé složky pole rozteče příslušných nerovností. Norma ČSN EN ISO4287 definuje geometrické parametry:

- R pro drsnost povrchu
- W pro vlnitost povrchu
- P pro základní profil

Základní délka l_r – délka ve směru osy x používána pro rozpoznání nerovností, které nám popisuje daný profil

Vyhodnocovaná délka l_n – délka ve směru osy x používaná pro posouzení vyhodnocovaného profilu, může obsahovat více základních délek nebo jen jednu. [6]

4.1. Drsnost povrchu - základní pojmy a vysvětlení veličin R_a , R_y , R_z

Požadavky na drsnost povrchu jsou vyjadřovány charakteristickou drsností povrchu podle ČSN EN ISO 4287, základní délkou a číselnou hodnotou příslušné veličiny, na které se veličina určuje.

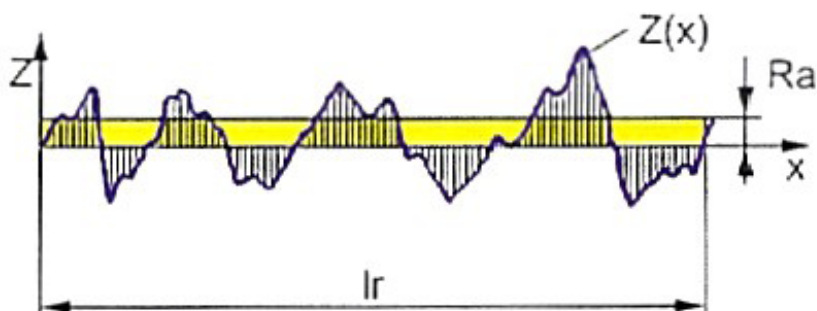
- R_a – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm],
- R_z – maximální výška profilu [μm],
- R_q – kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu [μm],
- R_p – největší výška výstupku profilu [μm],
- R_v – největší hloubka prohlubně profilu [μm],

- Rsk – šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) [-],
- Rku – špičatost posuzovaného profilu [-],

4.1.1. Střední aritmetická úchylka profilu R_a

Je to přednostní výšková charakteristika drsnosti povrchu. Střední aritmetická úchylka profilu R_a , je střední aritmetická hodnota absolutních úchylek profilu v rozsahu základní délky, viz rovnice 4.1.1. [7]

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (4.1.1)$$

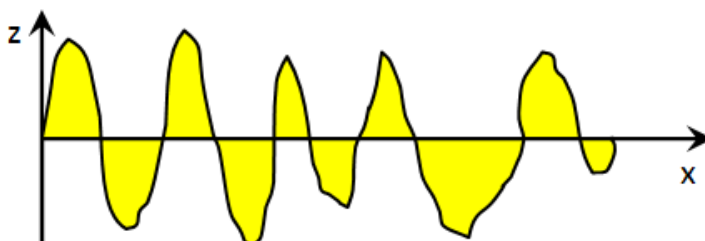


Obr. č. 1 - Schéma vyjádření střední aritmetické úchylky profilu R_a [7]

Geometricky je tento parametr ztvárněn výškou obdélníku sestrojeného na střední čáře a o stejné ploše jako nerovnosti profilu, uzavřené profilem od střední čáry. Střední aritmetická úchylka profilu R_a nemůže vytvořit obraz o tom, jak povrch vyrobený technologickou operací vypadá. [7]

4.1.2. Aritmetický průměr R_y

Plocha nacházející se nad aritmetickým průměrem se rovná ploše, která je pod čarou aritmetického průměru. [7]



Obr. č. 2 - Schématické znázornění aritmetického průměru R_y [7]

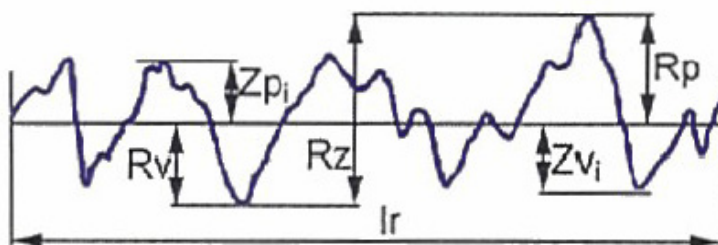
4.1.3. Největší výška profilu R_z

Největší výška profilu je součet hloubky Z_v nejnižší prohlubně a výšky Z_p největšího výstupku v rozsahu základní délky l_r . [7]

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |Z_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |Z_{vi}|}{5} \quad (4.1.3)$$

Z_p – výška výstupku profilu, je to vzdálenost mezi nejvyšším bodem výstupku profilu a osou X.

Z_v – hloubka prohlubně profilu, je to vzdálenost mezi nejnižším bodem prohlubně profilu a osou X. [6]



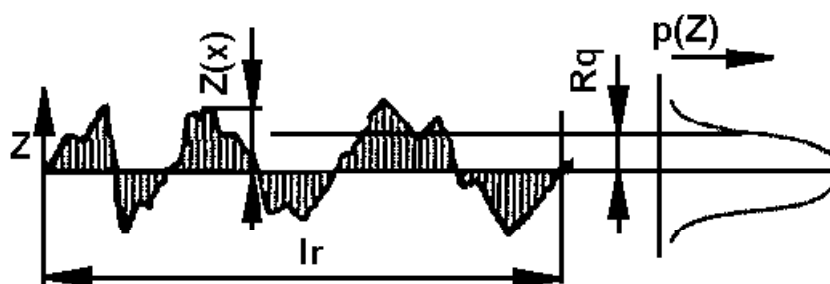
Obr. č. 3 - Schématické znázornění výšky profilu R_z [7]

Největší výška profilu R_z je vhodná pro hodnocení hrubých povrchů. Použití tam kde není možno povrchy pro jejich hrubost zhodnotit dotykovými profilometry. [7]

4.1.4. Průměrná kvadratická úchylka profilu Rq

Jde o průměrnou kvadratickou hodnotu pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. Průměrná kvadratická úchylka Rq má smysl při statistickém pozorování profilu povrchu, protože zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic. [6]

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z^2(x) dx} \quad (4.1.4)$$



Obr. č. 4 - Parametr Rq [6]

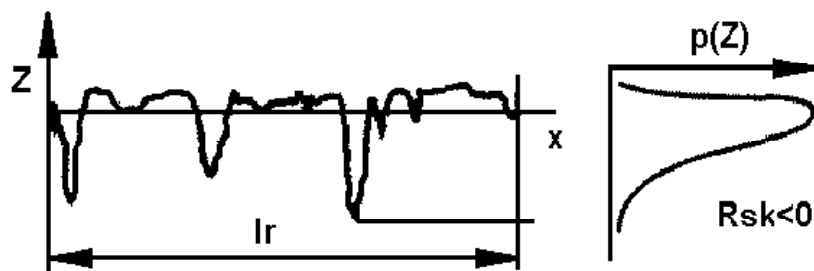
4.1.5. Největší výška výstupku Rp a největší hloubka prohlubně Rv

Parametr Rp je výška Zp největšího výstupku profilu v rozsahu základní délky l_r . Největší hloubka prohlubně Rv nám udává hloubku Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky l_r . [6]

4.1.6. Šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie – skewness) Rsk

Představuje podíl průměrných hodnot třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky l_r . Negativní hodnota šikmosti posuzovaného profilu Rsk odpovídá dobrým vlastnostem nosnosti profilu. [6]

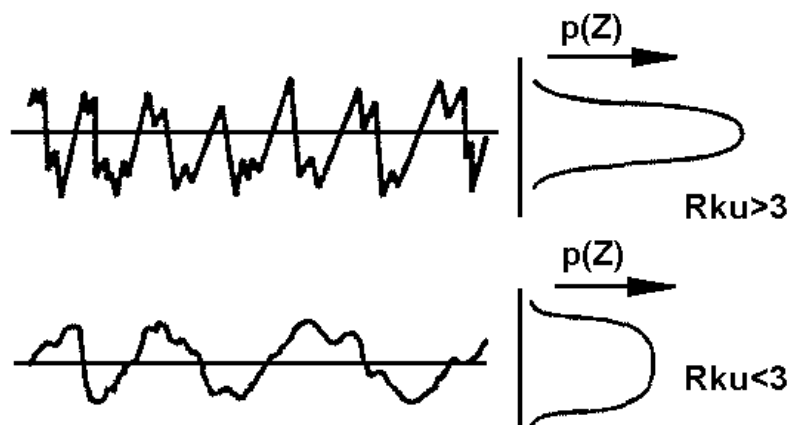
$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^3(x) dx| \right] \quad (4.1.6)$$


Obr. č. 5 - Parametr R_{sk} [6]

4.1.7. Špičatost posuzovaného profilu R_{ku}

Znázorňuje podíl průměrných hodnot čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty R_q v rozsahu základní délky l_r . $R_{ku} = 3$ při normálním rozdělení souřadnic profilu, ostřejší rýhy a výstupky při $R_{ku} > 3$ a naopak. [6]

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^4} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^4(x) dx| \right] \quad (4.1.7)$$


Obr. č. 6 - Parametr R_{ku} [6]

4.2. Metody měření drsnosti povrchu

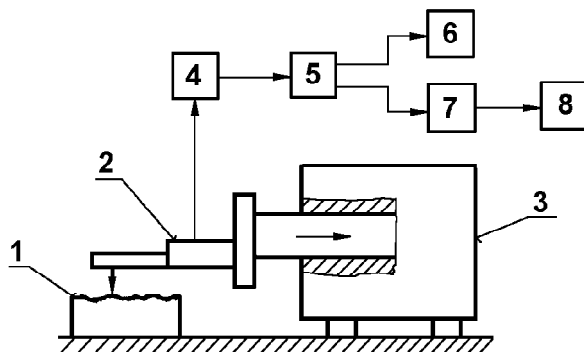
1. Bezdotykové profiloměry s postupnou transformací profilu

- Metoda světelného řezu
- Interferenční metody měření drsnosti povrchu

2. Dotykové profiloměry s postupnou transformací profilu

- Mechanicko-optické dotykové profilografy
- Dotykové profiloměry s mechanicko-elektrickým převodem

1. Měřená součást
2. Snímací hlavice s hrotem
3. Posuvový mechanismus
4. Zesilovač
5. Filtr
6. Registrační jednotka
7. Jednotka zprac. signál
8. Zobrazovací jednotka



Obr. č. 7 - Princip měření dotykovým profilometrem [6]

3. Snímače

- Generátorový typ
- Impedační typ
- Elektromagnetické snímače
- Piezoelektrické snímače
- Elektroinduktivní snímače
- Kapacitní snímače

4. Měřicí hroty [7]

5. Vhodnost smaltů pro kontakt s biologickým prostředím

L. L. Henche vyvinul v 70. letech povrchově bioaktivní skla na sodnovápenatokřemičité bázi s přídavkem oxidu fosforečného, která se v určitém rozsahu složení mohou chemicky vázat nejen na kostní tkáň, ale také vytvářejí vazbu s měkkou tkání.

Biotolerantní keramika, je taková, která se dobře snáší s živou tkání. Podle působení materiálu na živou tkáň, rozlišujeme biokeramiku na:

- inertní biokeramika
- resorbovatelná biokeramika
- bioaktivní materiály

5.1. Inertní biokeramika

Nejčastěji bývá korundová nebo na bázi oxidu zirkoničitého. Tyto materiály jsou dobře tolerovány kostní tkání. Implantáty se s kostními trámcí nespojí chemickou vazbou. Kostní buňky se drží na povrchu, jestliže jde o keramiku porézní, vniká nově vytvořená kost na omezenou vzdálenost do póru. Velmi často, se za nějakou dobu vytvoří kolem implantátu vazivové pouzdro.

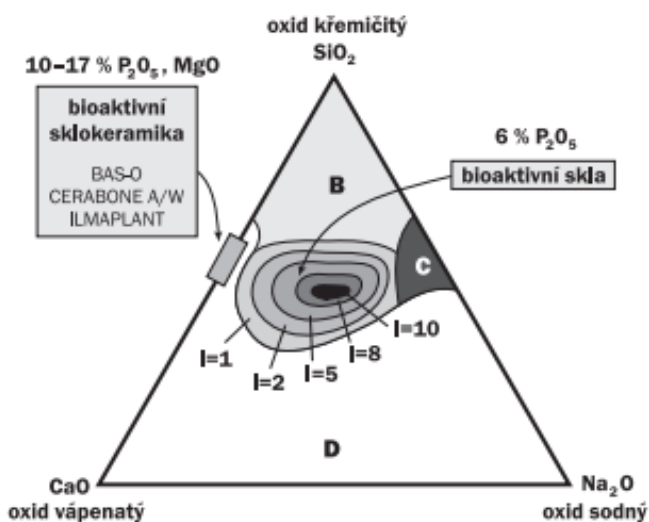
5.2. Resorbovatelná biokeramika

Nejvíce se vyrábějí na bázi vápenatých solí, mezi které patří fosforečnany, uhličitany nebo sírany. Tyto materiály jsou vhodné jako dočasné náhrady kostí. Když dochází k obnovování kostní tkáně, implantovaný materiál se po částech vstřebává.

5.3. Bioaktivní materiály

Mezi tyto materiály patří například hutný hydroxyapatit, bioaktivní skla, bioaktivní sklokeramika nebo bioaktivní kompozity. Vytvářejí pevnou chemickou vazbu s živou kostní tkání bez prostřednictví vaziva.

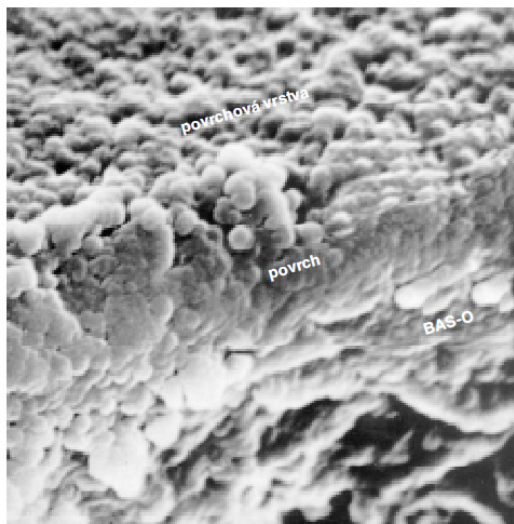
Bioaktivní skla jsou na bázi sodnovápenatokřemičitých skel s přídavkem oxidu fosforečného. Mezi nevýhody bioaktivních skel patří jejich nízká mechanická pevnost, proto jsou nevhodné pro klinické využití. Zatímco bioaktivní sklokeramické materiály na bázi apatitu a wollastonitu mají dobré mechanické vlastnosti. Vhodné uplatnění v neurochirurgii, také čelistní a obličejové chirurgii. [5]



Obr. č. 8 - Index bioaktivity v závislosti na složení skel v systému oxid křemičitý, oxid sodný a oxid vápenatý [5]

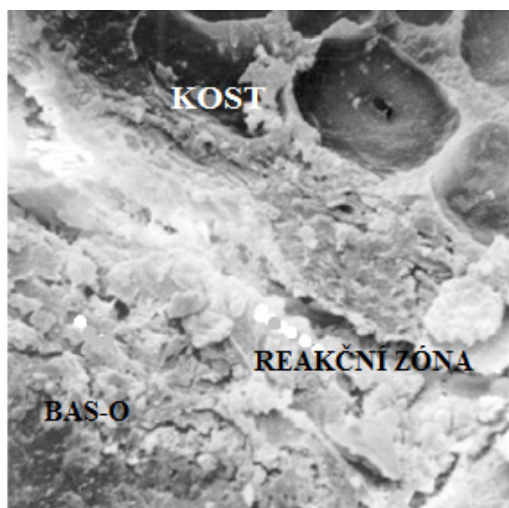
Obrázek znázorňuje index bioaktivity v závislosti na složení skel v systému oxid sodný, oxid křemičitý a oxid vápenatý. Vzorec pro index bioaktivity je $I = 100 / \text{počet dnů potřebných pro vytvoření vazby mezi polovinou povrchu implantátu a kostní tkání}$. Skla, která mají index bioaktivity $I > 1$ vytvářejí vazbu s kostní tkání. Materiály s indexem bioaktivity $I > 8$ se mohou také vázat k měkkým tkáním. Složení bioaktivních sklokeramik je charakteristické vyšším obsahem oxidu fosforečného a navíc obsahuje oxid hořečnatý.

Mezi české bioaktivní materiály patří produkt pod označením BAS-O. Je to bioaktivní, dlouhodobě stabilní materiál s vysokou mechanickou pevností. Přípravuje se řízenou krystalizací skla. Při této technologii je amorfni materiál přeměněn ve sklokeramiku s hlavními krystalickými fázemi wollastonitem a apatitem. Jde o anorganickou polykrystalickou nekovovou látku. Důležitou základní podmínkou pro vznik vazby je tvorba tenké povrchové vrstvy obohacené o fosfor a vápník vznikající na povrchu jako výsledek reakce mezi implantátem a tělní tekutinou. [5]



Obr. č. 9 - Apatitová vrstva vytvořená na povrchu implantátu BAS-O po 28 dnech vystavení simulovanému roztoku lidské plazmy: příčný řez povrchovou vrstvou (zvětšeno 10 000×)[5]

Vrstva je zpočátku amorfní, časem se však mění na polykrystalickou vrstvu apatitových útvarů podobných kostnímu apatitu. Během 4 až 8 týdnů se vytvoří pevná vazba, pro organismus není implantát cizorodým tělesem. BAS-O má velmi podobné vlastnosti jako kost, pevnost v ohybu je srovnatelná a pevnost v tlaku je oproti kosti dvojnásobná. Srůst implantátu s kostní tkání je dostatečně pevný. Implantáty se vyrábějí ve tvaru globulí, hranolků, plátků a případně individuální tvary podle místa výskytu. [5]



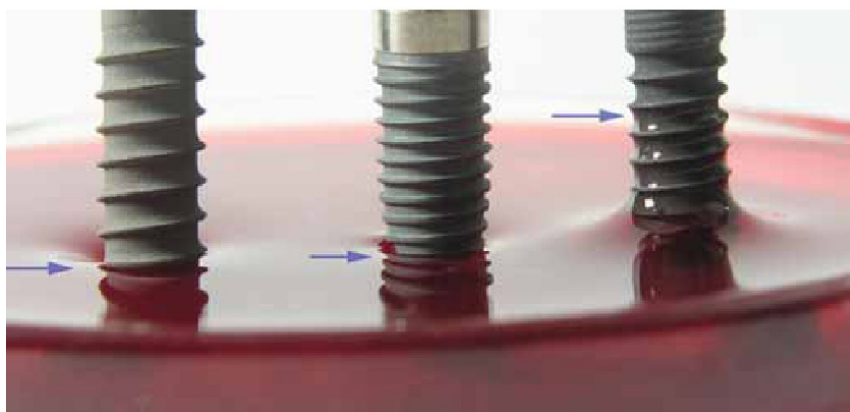
Obr. č. 10 - Detail srůstu kostní tkáni s implantátem bioaktivní sklokeramiky dva měsíce po implantaci (zvětšeno 600x) [5]

6. Bioaktivní titan

Definice bioaktivity zní: je to schopnost materiálu tvořit pevnou vazbu s živou tkání. Obráběný, hladký titan můžeme považovat za bioinertní materiál, u něhož dochází k opouzdření měkkou tkání. Za určitých podmínek a po dlouhé době je schopen vytvořit přímý kontakt s kostí. Dentální implantologie se od objevení osseointegrace snaží modifikovat povrch titanu s účelem přiblížit jeho reaktivitu bioaktivním materiálům a poskytnout tak bezpečnou tvorbu funkčního rozhraní dentálního implantátu s kostí za nejkratší dobu.

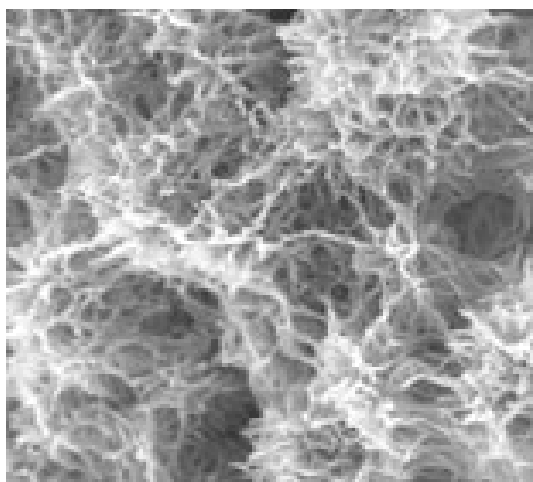
Bio povrch stimuluje usazení osteogenních buněk, podporuje jejich syntézu kostní matrix a diferenciaci, s cílem lepšího kontaktu kost-implantát v kratším časovém intervalu.

Povrchová úprava použitá při procesu přípravy Bio povrchu výrazně zvedá hustotu hydroxylových skupin na povrchu daného implantátu a zvyšuje tak úroveň hydratace. Chemická modifikace Bio povrchu v nano měřítku zasahuje do povrchu a mění jej na silně hydrofilní. Umožňuje jeho aktivní interakci s krevní plasmou dříve, než dojde k osídlení povrchu prvními osteogenními buňkami. Rychlá penetrace krve do komplexní struktury Bio povrchu je zajištěna výbornou smáčivostí povrchu. [10]



Obr. č. 11 - Kontakt tří vybraných povrchů s krví (vlevo: SLA, uprostřed: TiUnite, vpravo: Bio, šipky označují nejvyšší bod kontaktu implantát-krev) [10]

Bio povrch se skládá z makrodrsné, mikro a nano porézní, gradientní struktury, která vykazuje 138 násobný nárůst konkrétního povrchu v porovnání s hladkým obrobeným povrchem. Výskyt hydroxylových skupin v Bio povrchu je velmi významný pro iontovou interakci povrchu implantátu s krví. Bio povrch, který je hojný na aktivní hydroxylové skupiny, indukuje při dotyku s ionty krevní plasmy adsorpci fosforečnanů vápenatých (tvorba kostního apatitu). Na Bio povrchu vzniká kostní minerál představující ideální substrát pro prvotní apatitové struktury kostní matrix, které jsou syntetizovány osteogenními buňkami na počátku tvorby nové kostní tkáně. Tímto mechanismem se zajišťuje sekundární stabilita implantátu a také rychlejší tvorba rozhraní implantát-kost.

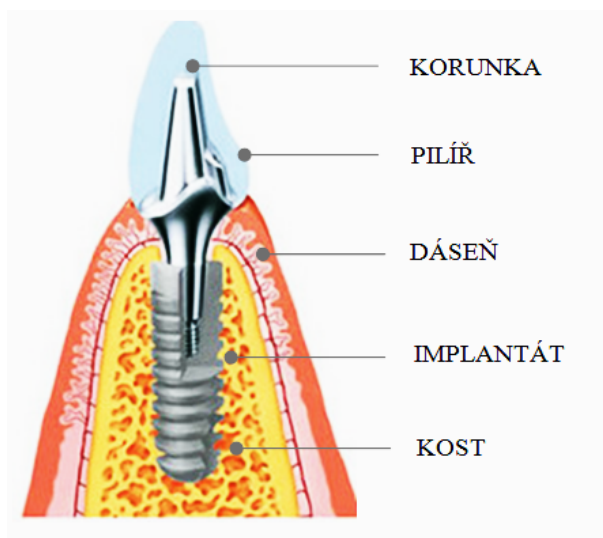


Obr. č. 12 - Porézní hydratovaná struktura Bio povrchu (SEM, zvětšeno 10000x) [10]

In vitro studií byla pozorována reakce osteoblastických buněk na tři titanové povrchy, zpracované obráběním, pískováním a leptáním kyselinou, Bio. Výsledky poukázaly na vliv Bio povrchu s buněčnou adhesí a osteoblastickou diferenciací. Bio povrch v porovnání s povrchem pískovaným a leptaným kyselinou a povrchem obráběným vykazoval vyšší procento adherujících buněk. Zajímavost Bio povrchu pro osteoblastické buňky byla prokázána vyšší adsorpcí fibronektinu (buněčný vazebný protein) v porovnání s jinými povrchy. Kultivované buňky na Bio povrchu vykazovaly, v porovnání s ostatními testovanými povrchy, vyšší produkci osteopontinu. [10]

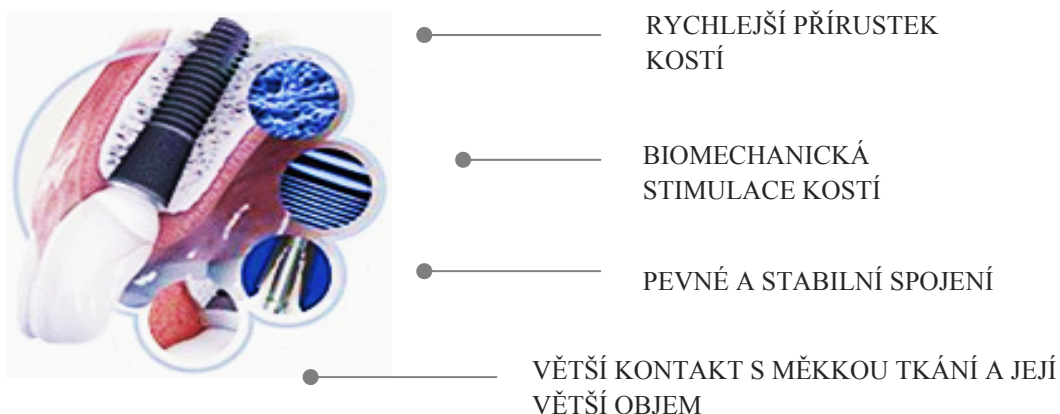
7. Titan v dentální implantologii

Implantáty mohou být považovány za plnohodnotnou náhradu chybějících nebo poškozených zubů. Parodontóza nebo zubní kazy způsobují poškození chrupu. Malé titanové náhrady mají stejný tvar jako kořen zubu a implantují se na místa předešlých zubů. Tyto implantáty fungují jako plnohodnotná náhrada kořenu zubu. Optimálně zatížený titanový implantát se nezlomí. [8]



Obr. č. 13 - Titanový implantát jako náhrada zubu [8]

Zubní implantát je titanový šroubovitý pilíř, který se během chirurgického zákroku zavede do čelisti. Titan je lidským tělem zpravidla přijímán bez komplikací, alergie se na něj vyskytují pouze minimálně. Je tvořen stabilním základem pro dlouhodobé upevnění protetické nástavby a současně vyplňuje mezeru po chybějícím zubu. Mohou být využity při náhradě jednoho, více nebo všech zubů. [9]



Obr. č. 14 - Kombinace klíčových vlastností pro dobrou funkčnost implantátu [12]

Kořenová implantace je nejpoužívanější metoda. Důležitým předpokladem pro bezchybnou implantaci je velikost čelistní kosti, musí být dostatečně hluboká a široká. Zákrok se provádí v lokálním umrtvení operované osoby, výjimečně se používá celková anestezie. Dochází k obnažení dásňového povrchu, kde se objevovaly prvotní zuby. [9]



Obr. č. 15 - Postup implantace [9]



8. Metodika experimentálních prací

Experimentální práce budou mít následující sled činností:

1. Výběr, příprava a značení zkušebních vzorků
2. Povrchová předúprava vzorků
 - odmaštění
 - sušení
3. Měření drsnosti vzorků před technologií smaltování ČSN EN ISO 4287
4. Smaltování zkušebních vzorků
5. Měření granulometrie použitých jíelů a kaolínů (laboratoř LSH-Laboratoř Sypkých Hmot)
6. Aplikace vzorků v kontaktu s biologickým prostředím (fyziologický roztok)
7. Mikroskopická analýza povrchu vzorku SEM (Skenovací elektronovou mikroskopií)
8. Vyhodnocení experimentálních zkoušek, porovnání výsledků

8.1. Měření drsnosti povrchu

Drsnost je souhrn nerovností povrchu na relativně malé vzdálenosti, které vznikají při výrobě nebo jiným způsobem. Do drsnosti nezahrnujeme vady povrchu, tj. náhodné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle, a které vznikají vadami materiálu. [7]

Měření drsnosti smaltového povlaku na zkušebních vzorcích se provádělo pomocí dotykového profilometru značky Mitutoyo. Přístroj funguje na principu konstantního pohybu ramena se snímacím hrotem, který snímá nerovnosti povrchu. Elektronická část transformuje mechanický signál generovaný snímacím hrotem sledující nerovnosti povrchu na elektrický signál. Drsnost povrchu se měřila před aplikací smaltového povlaku, ale také na hotovém výrobku. Zařízení je schopno pracovat v širokém rozsahu drsností. [6]

Požadavky na drsnost povrchu jsou vyjadřovány charakteristickou drsností povrchu podle ČSN EN ISO 4287. Důležité parametry:

- R_a – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm],
- R_z – maximální výška profilu [μm],
- R_q – kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu [μm],
- R_p – největší výška výstupku profilu [μm],
- R_v – největší hloubka prohlubně profilu [μm], [7]

8.2. Mikroskopická analýza povrchu vzorku SEM

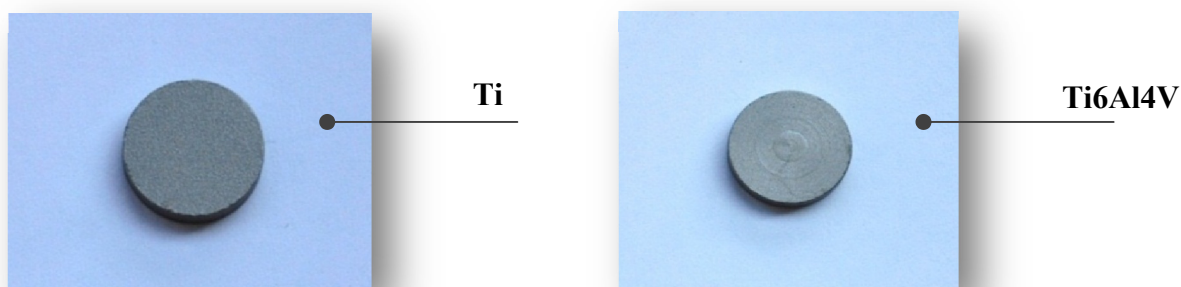
Skenovací elektronový mikroskop je přístroj sloužící k pozorování povrchu různých objektů. Můžeme ho považovat za analogii světelného mikroskopu v dopadajícím světle, na rozdíl od něho je konečný obraz tvořen pomocí sekundárního signálu. Metoda je díky tomuto způsobu zobrazení považována za nepřímou. Jednou z hlavních předností SEM je jeho velká hloubka ostrosti, díky které lze z dvojrozměrných fotografií nalézt jistý trojrozměrný aspekt. Další výhodou je, že v komoře preparátu vzniká při interakci urychlených elektronů s hmotou vzorku kromě výše zmíněných signálů ještě řada dalších záření (rentgenové záření). Další informace o vzorku nesou Augerovy elektrony. Při jejich detekci je možné určit prvkovou strukturu preparátu v dané oblasti a při porovnání s vhodným standardem stanovit i kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků. Skenovací elektronový mikroskop se často označuje jako mikroskop rastrovací nebo řádkovací. Zobrazovacím systémem může být obrazovka, na které se vytváří patřičný obraz vzniklý rastrováním elektronového paprsku po snímané ploše. Závěrečným obrazem je snímek, jenž zachycuje povrchovou strukturu preparátu [13]

9. Provedení experimentálních prací

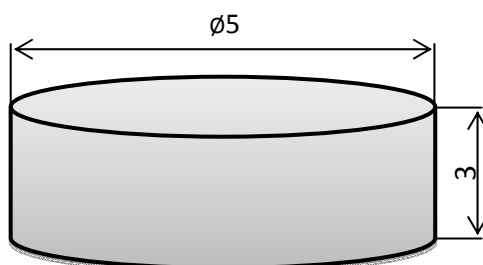
Cílem experimentálních prací je navrhnout vhodný sled operací, správnou volbu materiálu zkušebních vzorků a dobrý druh smaltů.

9.1. Materiál zkušebních vzorků

Na zkušební vzorky se použily dva druhy materiálů, jejichž chemické složení je tvořeno slitinou titanu Ti6Al4V a čistým titanem. Rozměry průměru jsou 5mm a šířka 3mm. Na vzorku z čistého titanu byly provedeny mechanické úpravy jako kartáčování a broušení, zatímco vzorek z titanu neměl provedené povrchové úpravy. Poslední vzorek nebyl smaltovaný, ale pouze aplikován do fyziologického roztoku. Jedná se o nerezový plech velikosti 50x50 mm, který byl nařezán z hrnce.



Obr. č. 16 - Vzorky použité v experimentu



Obr. č. 17 - Velikostní parametry zkušebních vzorků



9.2. Odmaštění zkušebních vzorků

Odmašťovací postup:

1. Odmaštění vzorků po dobu 5 min (odmašťovací lázeň)
2. Oplach vzorku ve vodě po dobu 1 min
3. Sušení vzorků při 100°C v časovém intervalu od 4-5 minut (sušička SN 30/4)

Odmašťovací lázeň

Vzorky byly odmaštěny po dobu pěti minut v ekologickém přípravku „Simple Green“

1. Ekologický odmašťovací přípravek Simple Green koncentrace 1:10 s vodou
2. Naměřené hodnoty lázně

- před odmaštěním
T – 27 °C
pH – 9,8
- po odmaštění
T – 25,8 °C
pH – 9,76

Přípravek „Simple Green“ odmašťuje na principu „Mikro-partikulární frakcionizace“. Při této technologii dochází k štěpení olejů a tuků na mikročástice. Částice se neustále zmenšují a jsou rozptýleny v roztoku přípravku s vodou. Katalyzátorem se stává voda a lze ji proto odvádět přímo do čistíren odpadních vod.

Oplach – voda

Po odmaštění byl proveden oplach ve studené vodě po dobu jedné minuty.

1. Naměřené hodnoty oplachové lázně

- před odmaštěním
T – 23,6 °C
pH – 8,67
- po odmaštění
T – 23,3 °C
pH – 8,65

Pro zjištění pH a teplot lázní před a po oplachu bylo použito zařízení pH metr EUTECH INSTRUMENTS pH 5+.

9.3. Měření drsnosti smaltů

V první části se měřily hodnoty drsnosti u nerezového plechu, titanových vzorků Ti, které byly zpracovány mechanickými předúpravami kartáčováním a broušením a také drsnosti vzorků z Ti6Al4V. Na těchto materiálech nebyly vytvořeny žádné povrchové úpravy. Drsnost byla měřena před technologií smaltování, ale také u vypálených vrstev smaltů.

Měření se provádělo na dotykovém profilometru SURFTEST 301 od firmy Mitutoyo, který je zobrazen na obrázku č. 18.



Obr. č. 18 - Dotykový profilometr SurfTest 301 [11]

9.4. Smaltování zkušebních vzorků

9.4.1. Technologický postup tvorby smaltového povlaku:

1. Odmaštění vzorků ponorem v 10 % ekologickém roztoku Simple Green s vodou po dobu 5 minut
2. Oplach vodou po dobu 1 minuty
3. Sušení při 100°C v časovém intervalu od 4-5 minut (sušička SN30/4)
4. Chladnutí na vzduchu
5. Nanesení smaltéřské břečky základního smaltu stříkáním (nedostatky doopraveny štětcem)
6. Sušení při 100°C v časovém intervalu od 4-5 minut (sušička SN30/4)
7. Vypalování základního smaltu při 850° C, po dobu 8 minut a 12 minut (pec HG 4/3)
8. Chladnutí

Vzorky byly nasmaltovány pouze z jedné strany

9.4.2. Použité druhy sklovitého povlaku

Na vzorky byly použity tyto smalty:

1. Základní smalt + jemný jíl Ferro – 14. 4. 2011
 - jemný jíl 3%
2. Základní smalt Ferro + kaolín T4 – 14. 4. 2011
 - kaolín 6%
3. Základní smalt Ferro + kaolín T3 – 14. 4. 2011
 - kaolín 6%
4. Základní smalt Ferro + jemný jíl MiC - 14. 4. 2011
 - jemný jíl 3%

Kaolíny - rok namletí 2010

Jíl MiC a FERRO - rok namletí 2007

9.4.3. Nanášení smaltového povlaku

Smaltéřské břčky byly nanášeny na zkušební vzorky pomocí pneumatického ručního stříkání ve speciální kabině (obr. č. 19). Metoda je velice obtížná na dodržení správné tloušťky a rovnoměrného nanesení smaltéřské břčky. Podstatný vliv má úhel sklonu stříkání a vzdálenost mezi pistolí a stříkaným tělesem.



Obr. č. 19 - Stříkací kabina

9.4.4. Vypalování sklovitého smaltu

Před vypalováním musí být každá suspenze vysušena. Sušení bylo provedeno v sušičce SN 30/4 po dobu 4-5 minut při teplotě 100 °C.

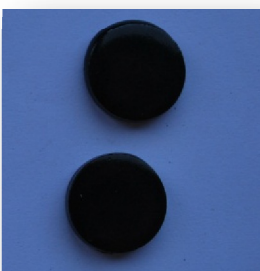
Pro operaci vypalování byla použita pec ZEZ HG 4/3. Pomocí termostatu byla zajištěna stabilní teplota na předepsané výši. Vypalovací doba trvala 8 a 12 minut. Musíme brát ohled na teplotní pokles způsobený otevřením pece po dobu potřebnou na vhodné ustavení vzorku. Po vyndání z pece následuje chladnutí vzorku na vzduchu.



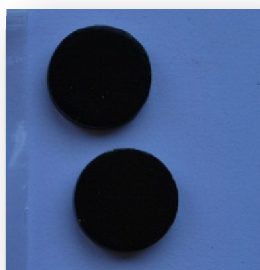
Základní smalt + jemný jíl MiC 3% na vzorku Ti



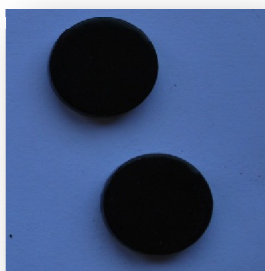
Základní smalt + jemný jíl MiC 3% na vzorku Ti6Al4V



Základní smalt + kaolín T4 6% na vzorku Ti



Základní smalt + kaolín T3 6% na vzorku Ti



Základní smalt + kaolín T3 6% na vzorku Ti6Al4V



Základní smalt + jemný jíl Fero 3% na vzorku Ti6Al4V

Obr. č. 20 – Ukázky posmaltovaných vzorků

9.5. Měření granulometrie použitých jíílů a kaolínů

Granulometrie byla měřena v laboratoři sypkých hmot (LSH) na katedře 342 - Institut dopravy, měření bylo provedeno na laserovém analyzátoru Mastersizer 2000. Každý vzorek má tabulku velikostní distribuce, která je zobrazena i graficky.

Základní hodnoty:

- $d(0.1)$ – 10% vzorku je pod tuto hodnotu;
- $d(0.5)$ – 50% vzorku je pod tuto hodnotu (tato hodnota dělí plochu křivky na dvě identické poloviny);
- $d(0.9)$ – 90% vzorku je pod tuto hodnotu;
- d_{50} – střední zrno (okolo této hodnoty se vyskytuje největší množství daného vzorku)
- span (šířka distribuce) – $[d(0.9)-d(0.1)]/d(0.5)$

9.6. Aplikace vzorků do prostředí biologického média

Za biologické prostředí byl zvolen fyziologický roztok (9 g soli/ 1 l vody), do kterého se vzorky umístily po dobu 10 dní. Byl použit jeden vzorek od každého smaltu. Každý vzorek byl uložen ve speciální sklenici s kontaktním médiem a uzavřen kovovým víčkem. Sklenice byly uloženy v místnosti se stálou pokojovou teplotou od 19-22 °C. Po 10 dnech expozice byly vzorky vytáhnuty a malým proudem vody opláchnuty.

Fyziologický roztok:

- uložení při pokojové teplotě 19-22 °C
- 1 l vody
- 9 g soli

9.7. Mikroskopická analýza povrchu vzorku SEM

Fotodokumentace povrchů vzorků byla provedena na řádkovacím elektronovém mikroskopu (SEM). Snímky jednotlivých povrchů byly pořízeny na přístroji ASPEX PSEM eXplorer v laboratoři CPIT (centrum pokročilých inovačních technologií), VŠB-TU Ostrava.



Obr. č. 21 – Přístroj ASPEX PSEM eXplorer [14]

10. Vyhodnocení experimentálních prací

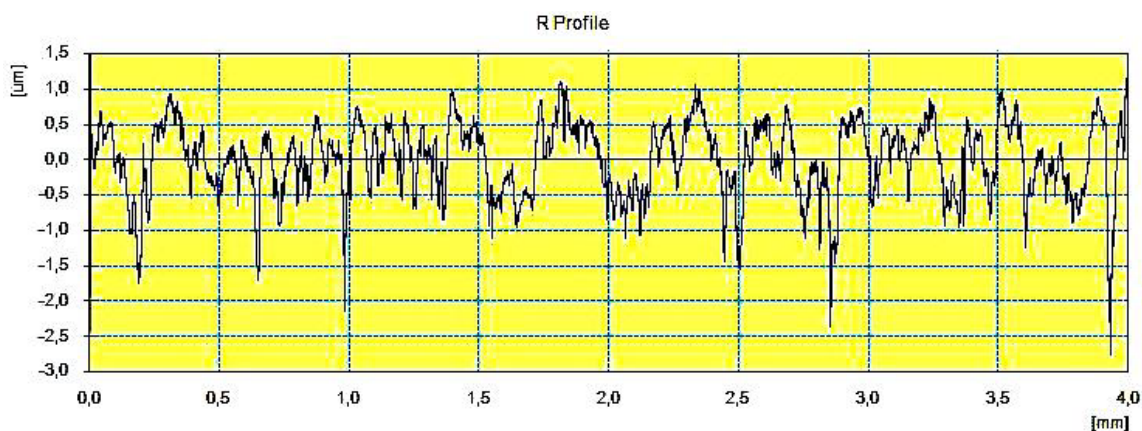
10.1. Vyhodnocení měření drsnosti základních materiálů

Na vzorcích nerezového plechu, čistého titanu Ti a slitiny titanu Ti6Al4V bylo provedeno deset měření pomocí dotykového profilometru Surftest 301 od firmy Mitutoyo. Měření probíhalo dle ISO 1997. Obrázky znázorňují v grafické formě hodnoty drsnosti profilu jednotlivých vzorků.

Nerezový plech 50x50 mm

Parametry drsnosti: Nerezový plech							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,49	3,16	0,64	1,15	2,01	-0,89	3,66
2.	0,53	3,48	0,66	1,26	2,23	-0,71	3,48
3.	0,40	2,75	0,52	1,05	1,70	-0,77	3,90
4.	0,36	2,33	0,45	0,87	1,46	-0,71	3,25
5.	0,43	3,00	0,53	0,97	2,03	-0,76	3,82
6.	0,45	3,00	0,58	1,03	1,97	-0,91	3,78
7.	0,48	2,99	0,60	1,21	1,78	-0,51	3,07
8.	0,52	3,67	0,68	1,31	2,36	-0,63	4,15
9.	0,43	2,80	0,53	0,91	1,89	-0,57	3,12
10.	0,40	2,53	0,50	0,81	1,72	-0,87	3,49
$\bar{\emptyset}$	0,45	2,97	0,57	1,06	1,92	-0,73	3,57

Tab. č. 1 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti pro nerezový plech

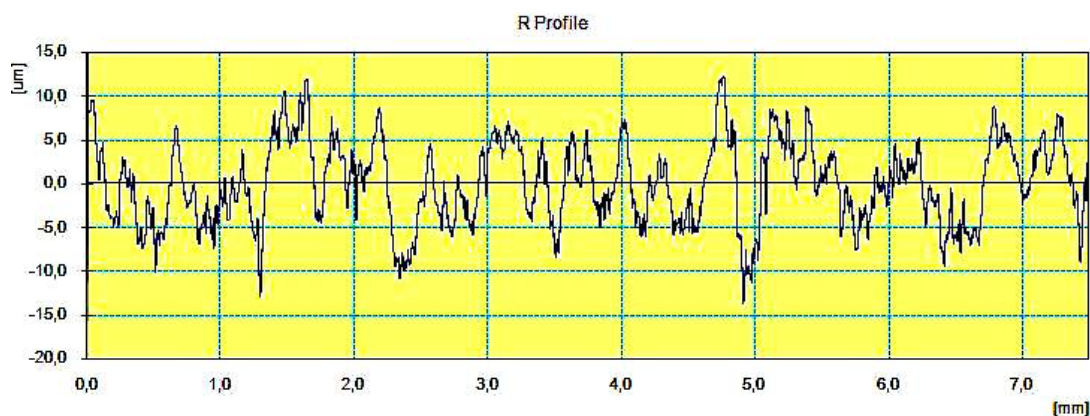


Obr. č. 22 - Profil drsnosti nerezového plechu pro páte měření

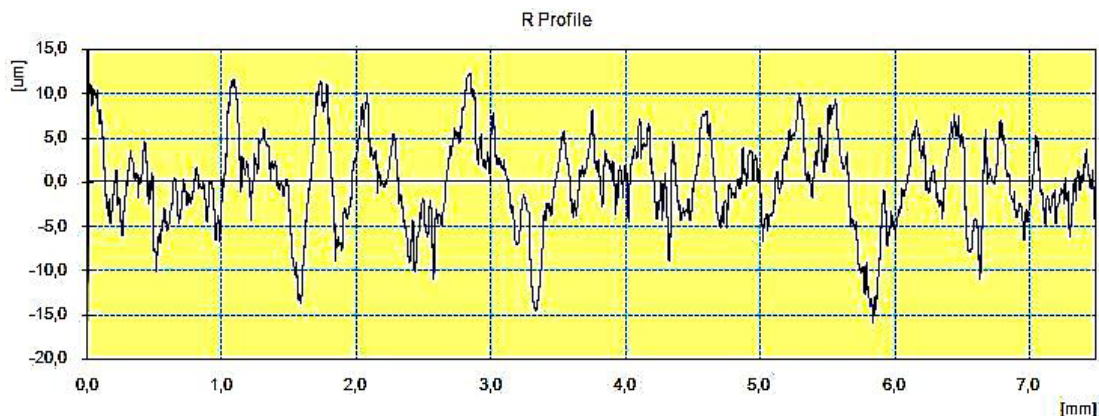
Ti – broušený, kartáčovaný

Parametry drsnosti Ti - broušený, kartáčovaný (ISO 5832 – 2)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 3 mm, filtr profilu $\lambda_c = 2,5$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	3,84	24,35	4,95	10,93	13,42	-0,06	3,00
2.	3,69	22,58	4,68	11,57	11,01	0,02	2,91
3.	3,84	24,59	4,91	12,71	11,88	0,07	2,88
4.	3,37	21,90	4,14	9,93	11,97	-0,09	2,61
5.	3,90	22,94	4,70	10,91	12,02	0,02	2,45
6.	3,11	18,56	3,85	8,84	9,73	-0,07	2,48
7.	4,04	24,58	4,95	10,92	13,66	-0,026	2,61
8.	3,43	20,65	4,19	9,73	10,92	-0,08	2,55
9.	3,59	21,65	4,30	11,19	10,46	-0,09	2,56
10.	3,89	25,92	5,00	11,16	14,74	-0,25	3,30
Ø	3,67	22,77	4,57	10,79	11,98	-0,06	2,74

Tab. č. 2 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti pro vzorek Ti



Obr. č. 23 - Profil drsnosti vzorku Ti pro páté měření

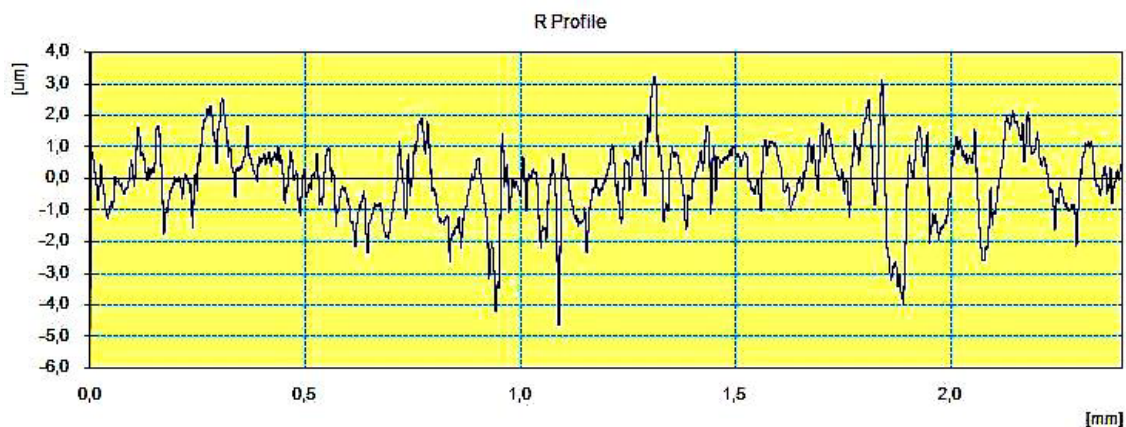


Obr. č. 24 – Profil drsnosti vzorku Ti pro desáté měření

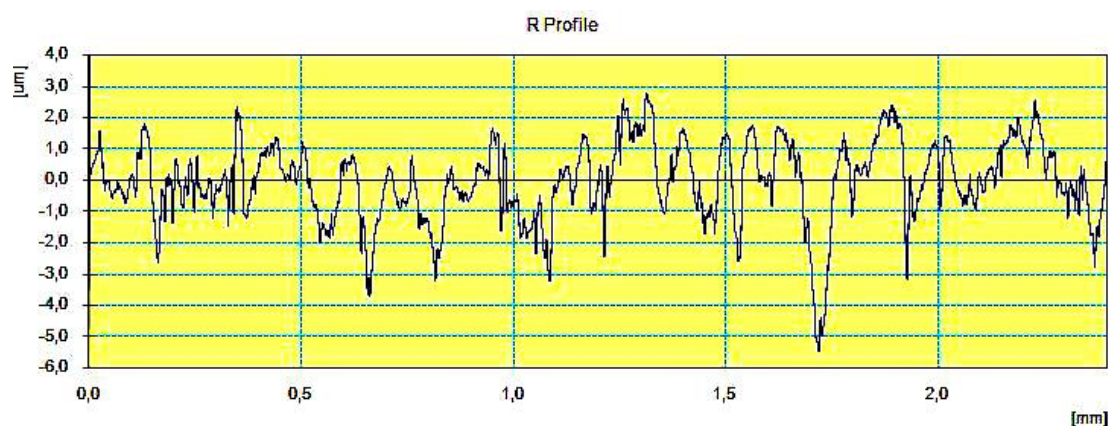
Ti6Al4V – vyrobeno bez povrchových úprav

Parametry drsnosti Ti6Al4V (ISO 5832 – 3)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 3 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,88	8,68	1,24	3,63	5,05	-0,94	6,32
2.	0,78	5,70	1,01	2,52	3,18	-0,68	3,50
3.	0,95	7,03	1,24	3,29	3,74	-0,07	3,52
4.	1,03	7,51	1,32	3,03	4,48	-0,43	3,68
5.	0,88	6,60	1,13	2,93	3,66	-0,41	3,52
6.	1,34	8,69	1,75	4,30	6,44	-0,24	3,74
7.	1,06	6,89	1,34	2,50	4,39	-0,76	3,13
8.	0,77	5,82	1,00	2,96	2,86	-0,04	3,75
9.	1,00	8,57	1,39	3,18	5,39	-0,49	5,25
10.	0,97	6,69	1,25	2,53	4,15	-0,82	3,84
Ø	0,97	7,22	1,27	3,09	4,33	-0,49	4,03

Tab. č. 3 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti pro vzorek Ti6Al4V



Obr. č. 25 – Profil drsnosti vzorku Ti6Al4V pro páté měření



Obr. č. 26 – Profil drsnosti vzorku Ti6Al4V pro desáté měření

10.2. Vyhodnocení měření drsnosti vypálených vrstev smaltů

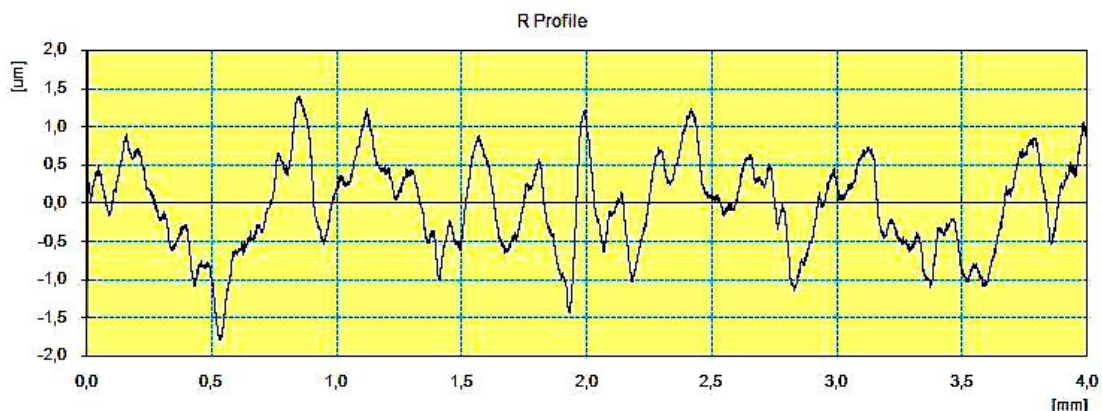
Na všech vypálených vrstvách smaltů byla naměřena drsnost pomocí dotykového profilometru SurfTest 301 od firmy Mitutoyo. Měření probíhalo desetkrát dle ISO 1997. Obrázky znázorňují v grafické formě hodnoty drsnosti profilu jednotlivých vzorků.

1. Základní smalt + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V – 14. 4. 2011

- jemný jíl 3%

Parametry drsnosti Ti6Al4V (ISO 5832 – 3)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,54	2,60	0,65	1,33	1,28	-0,13	2,46
2.	0,50	2,45	0,60	1,15	1,30	-0,18	2,52
3.	0,56	2,68	0,68	1,32	1,36	-0,01	2,32
4.	0,52	2,59	0,63	1,33	1,27	-0,04	2,69
5.	0,57	3,06	0,78	1,34	1,72	-0,47	4,31
6.	0,57	3,12	0,70	1,37	1,47	-0,27	2,81
7.	0,57	2,85	0,69	1,28	1,57	-0,24	2,70
8.	0,59	2,74	0,71	1,31	1,43	-0,13	2,13
9.	0,56	2,67	0,66	1,24	1,42	-0,17	2,33
10.	0,50	2,53	0,62	1,19	1,33	0,04	2,60
$\bar{\emptyset}$	0,55	2,73	0,67	1,29	1,42	-0,16	2,69

Tab. č. 4 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základního smaltu (jemný jíl Fero 3%)



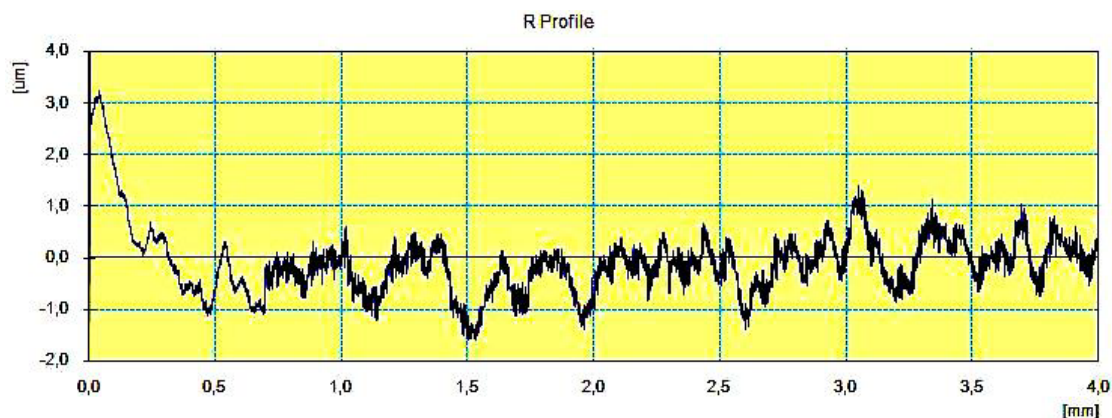
Obr. č. 27 – Profil drsnosti základního smaltu (jemný jíl Fero 3%) pro druhé měření

2. Základní smalt + kaolín T4 na vzorku Ti – 14. 4. 2011

- kaolín 6%

Parametry drsnosti Ti - broušený, kartáčovaný (ISO 5832 – 2)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,48	2,90	0,64	1,37	1,53	-0,23	3,19
2.	0,47	2,62	0,62	1,36	1,27	-0,29	3,31
3.	0,58	2,92	0,71	1,31	1,61	-0,46	2,51
4.	0,49	2,87	0,65	1,61	1,26	0,08	3,73
5.	0,52	2,97	0,67	1,47	1,50	-0,22	2,87
6.	0,55	2,70	0,67	1,51	1,48	-0,51	2,34
7.	0,47	2,49	0,58	1,02	1,47	-0,72	2,52
8.	0,49	2,53	0,59	1,19	1,34	-0,41	2,29
9.	0,56	3,87	0,72	2,04	1,83	-0,49	3,87
10.	0,52	2,98	0,66	1,38	1,60	-0,64	2,76
Ø	0,51	2,89	0,65	1,43	1,49	-0,39	2,94

Tab. č. 5 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základního smaltu + kaolín T4 6%



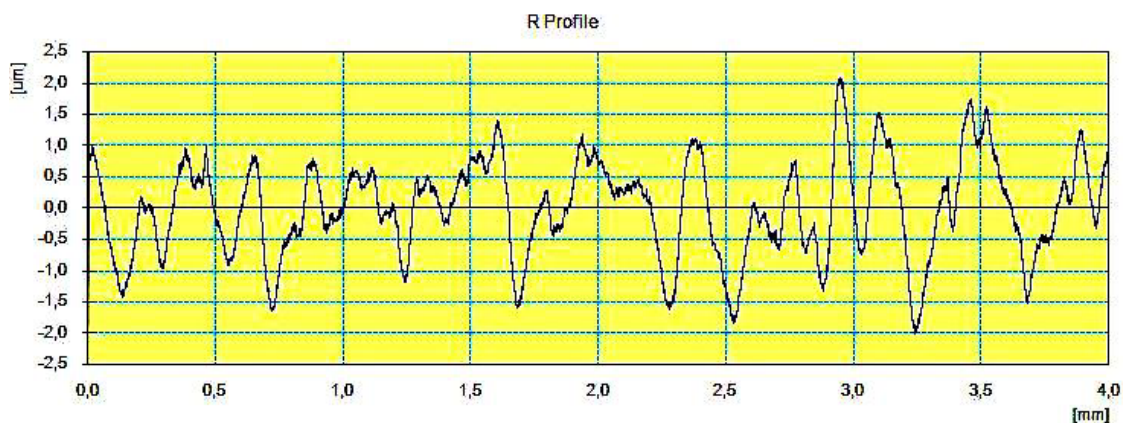
Obr. č. 28 – Profil drsnosti základního smaltu + kaolín T4 6% pro druhé měření

3. Základní smalt + kaolín T3 na vzorku Ti – 14. 4. 2011

- kaolín 6%

Parametry drsnosti Ti - broušený, kartáčovaný (ISO 5832 – 2)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rp [μ m]	Rv [μ m]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,51	2,66	0,63	1,16	1,50	-0,31	2,67
2.	0,62	3,16	0,75	1,49	1,67	-0,18	2,41
3.	0,71	3,39	0,86	1,71	1,69	-0,15	2,26
4.	0,52	2,70	0,64	1,35	1,35	-0,11	2,53
5.	0,52	2,96	0,66	1,33	1,63	-0,49	3,03
6.	0,51	2,94	0,65	1,38	1,56	-0,44	3,06
7.	0,54	2,79	0,67	1,46	1,33	-0,01	2,55
8.	0,54	2,88	0,67	1,40	1,47	-0,04	2,62
9.	0,58	2,76	0,70	1,22	1,54	-0,35	2,55
10.	0,56	3,09	0,70	1,37	1,72	-0,46	2,90
Ø	0,56	2,93	0,69	1,39	1,55	-0,25	2,66

Tab. č. 6 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základního smaltu +kaolín T3 6%



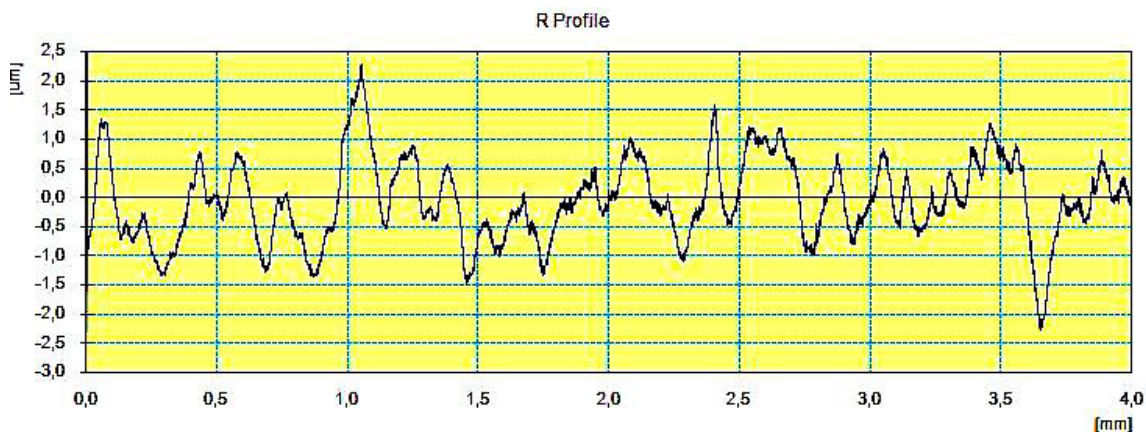
Obr. č. 29 – Profil drsnosti základního smaltu + kaolín T3 6% pro druhé měření

4. Základní smalt + kaolín T3 na vzorku Ti6Al4V – 14. 4. 2011

- kaolín 6%

Parametry drsnosti Ti6Al4V (ISO 5832 – 3)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,45	2,71	0,57	1,46	1,26	-0,05	2,94
2.	0,61	3,47	0,78	1,44	2,04	-0,67	2,14
3.	0,60	3,21	0,75	1,54	1,67	-0,17	2,70
4.	0,56	3,06	0,70	1,56	1,50	-0,25	2,79
5.	0,60	2,85	0,74	1,17	1,68	-0,66	2,62
6.	0,59	3,16	0,75	1,43	1,73	-0,41	2,82
7.	0,58	2,91	0,72	1,17	1,74	-0,75	2,81
8.	0,52	2,83	0,64	1,23	1,60	-0,55	2,86
9.	0,60	2,84	0,74	1,16	1,68	-0,68	2,64
10.	0,54	2,96	0,69	1,42	1,54	-0,22	3,01
\emptyset	0,57	3,00	0,71	1,36	1,64	-0,44	2,73

Tab. č. 7 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základního smaltu +kaolín T3 6%



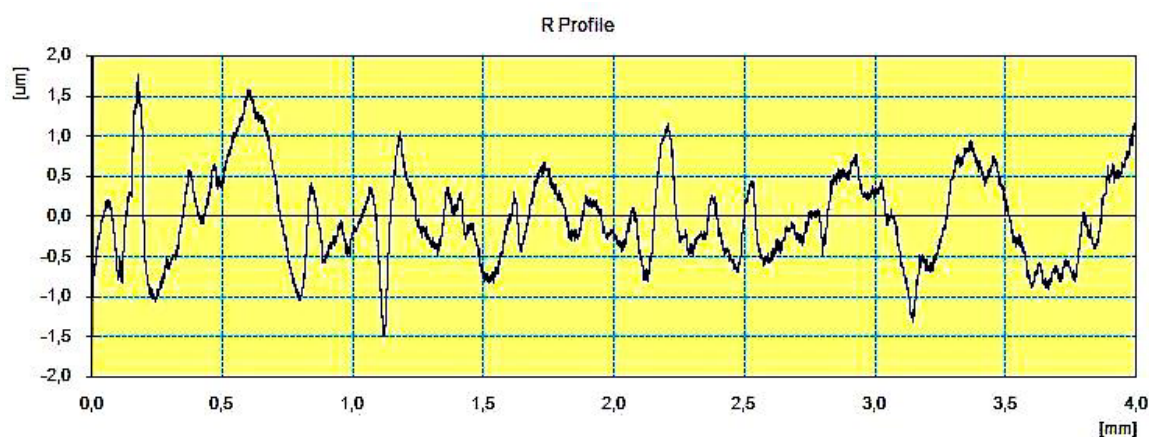
Obr. č. 30 – Profil drsnosti základního smaltu + kaolín T3 6% pro čtvrté měření

5. Základní smalt + jemný jíl MiC na vzorku Ti - 14. 4. 2011

- jemný jíl 3%

Parametry drsnosti Ti - broušený, kartáčovaný (ISO 5832 – 2)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,45	2,32	0,54	1,19	1,13	-0,06	2,63
2.	0,64	3,28	0,82	1,53	1,73	-0,24	2,49
3.	0,74	3,91	0,91	1,95	1,96	-0,27	3,14
4.	0,68	2,90	0,80	1,52	1,38	-0,22	2,22
5.	0,74	4,26	0,91	2,15	2,12	-0,44	2,56
6.	0,55	2,90	0,65	1,41	1,49	-0,27	2,25
7.	0,77	3,98	0,91	2,04	1,94	-0,03	2,33
8.	0,65	3,43	0,81	1,68	1,75	-0,34	2,53
9.	0,63	3,92	0,85	1,62	2,30	-0,42	3,81
10.	0,70	3,08	0,83	1,44	1,64	-0,31	2,38
$\bar{\emptyset}$	0,66	3,40	0,80	1,65	1,74	-0,26	2,63

Tab. č. 8 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základní smalt + jemný jíl MiC 3%



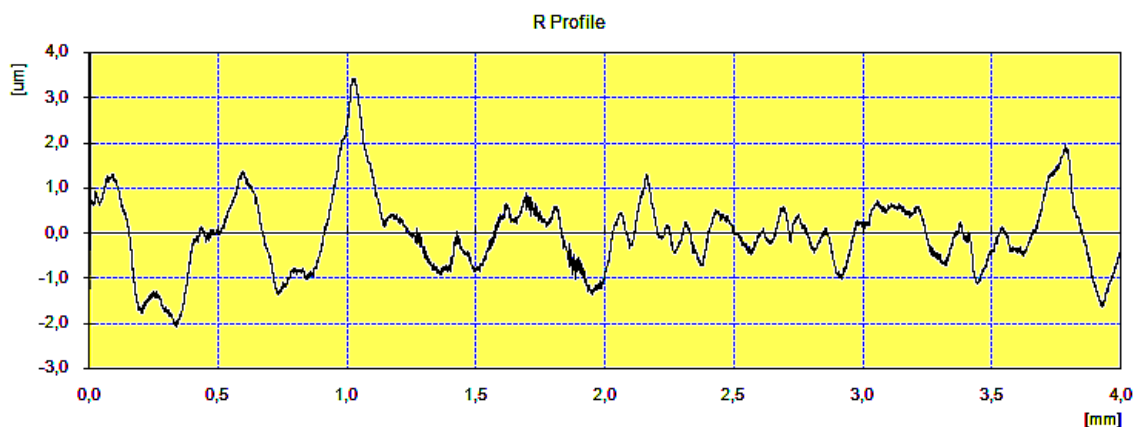
Obr. č. 31 – Profil drsnosti základní smalt + jemný jíl MiC 3% pro první měření

6. Základní smalt + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V - 14. 4. 2011

- jemný jíl 3%

Parametry drsnosti Ti6Al4V (ISO 5832 – 3)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,65	3,76	0,80	1,71	2,05	-0,02	3,10
2.	0,73	3,49	0,89	1,79	1,70	0,00	2,23
3.	0,61	3,39	0,76	2,03	1,36	0,08	4,35
4.	0,65	3,27	0,82	1,69	1,58	0,11	2,57
5.	0,54	2,65	0,69	1,18	1,47	-0,43	2,92
6.	0,70	3,89	0,89	1,88	1,97	0,00	3,74
7.	0,63	3,18	0,78	1,68	1,50	-0,07	2,54
8.	0,65	2,96	0,79	1,32	1,64	-0,43	2,43
9.	0,64	3,16	0,80	1,73	1,43	0,05	2,87
10.	0,49	2,31	0,60	1,29	1,02	-0,17	2,57
$\bar{\emptyset}$	0,63	3,21	0,78	1,63	1,57	-0,09	2,93

Tab. č. 9 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základní smalt + jemný jíl MiC 3%



Obr. č. 32 – Profil drsnosti základní smalt + jemný jíl MiC 3% pro deváté měření

10.3. Vyhodnocení měření drsnosti po vytažení z fyziologického roztoku

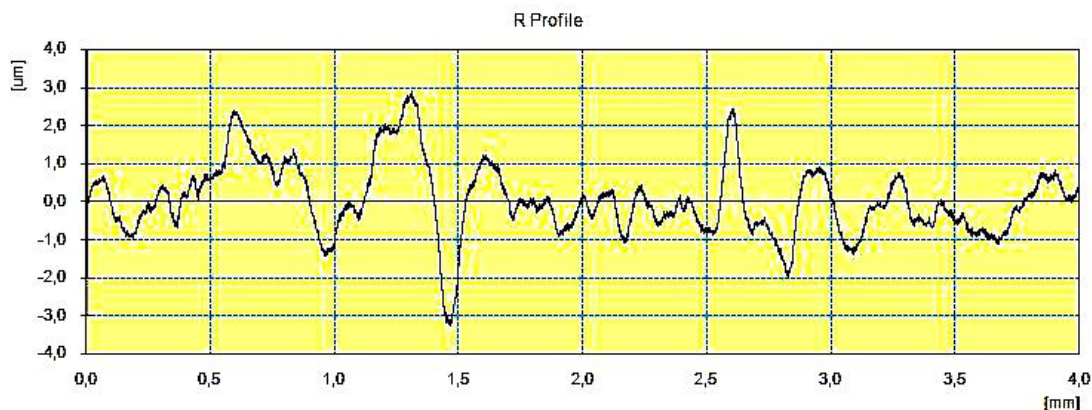
Na všech smalttech po vytažení z fyziologického roztoku byla naměřena drsnost pomocí dotykového profilometru SurfTest 301 od firmy Mitutoyo. Měření probíhalo desetkrát dle ISO 1997. Obrázky znázorňují v grafické formě hodnoty drsnosti profilu jednotlivých vzorků.

1. Základní smalt + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V – 14. 4. 2011

- jemný jíl 3%

Parametry drsnosti Ti6Al4V (ISO 5832 – 3)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Rq [μ m]	Rp [μ m]	Rv [μ m]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,77	3,85	0,92	1,99	1,87	0,23	2,21
2.	0,73	4,24	0,92	2,25	2,00	0,39	3,23
3.	0,72	3,31	0,86	1,84	1,47	0,38	2,26
4.	0,75	3,85	0,93	1,94	1,91	0,22	2,50
5.	0,69	3,42	0,85	2,14	1,29	0,55	2,66
6.	0,59	3,30	0,76	1,95	1,34	0,44	2,96
7.	0,66	3,16	0,83	1,78	1,38	0,28	2,67
8.	0,59	3,14	0,74	1,95	1,19	0,58	2,79
9.	0,65	3,24	0,83	1,80	1,44	0,21	2,89
10.	0,71	3,64	0,88	1,94	1,7	0,14	2,65
\emptyset	0,69	3,52	0,85	1,96	1,56	0,34	2,68

Tab. č. 10 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základního smaltu (jemný jíl Fero 3%)



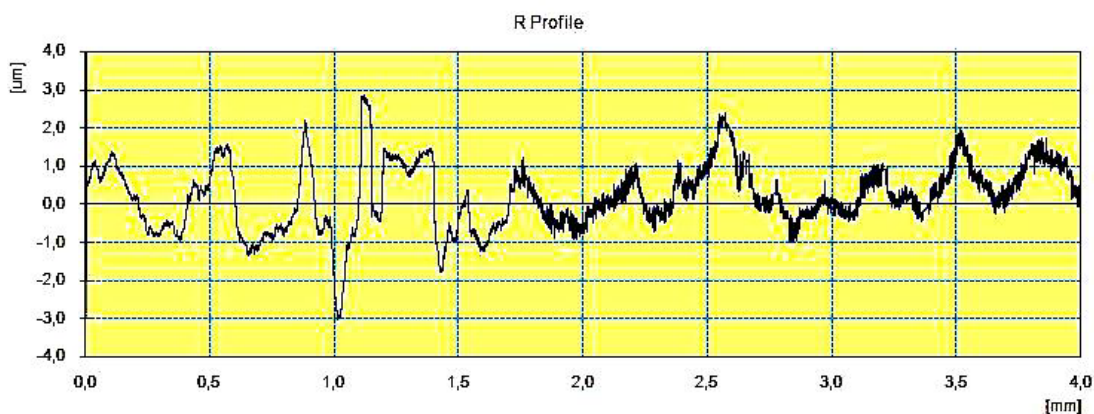
Obr. č. 33 – Profil drsnosti základního smaltu (jemný jíl Fero 3%) pro desáté měření

2. Základní smalt + kaolín T4 na vzorku Ti – 14. 4. 2011

- kaolín 6%

Parametry drsnosti Ti - broušený, kartáčovaný (ISO 5832 – 2)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,43	2,44	0,53	1,39	1,05	0,63	3,05
2.	0,58	3,67	0,72	1,96	1,72	0,61	3,00
3.	0,68	3,95	0,84	2,28	1,67	0,45	2,6
4.	0,82	4,79	1,05	3,19	1,6	0,98	4,03
5.	0,8	3,96	0,99	2,45	1,51	0,55	2,75
6.	0,61	3,17	0,76	2,02	1,16	0,78	2,72
7.	0,65	4,2	0,88	2,72	1,48	0,7	3,95
8.	0,62	3,51	0,77	2,03	1,48	0,3	2,79
9.	0,69	3,42	0,84	2,00	1,43	0,67	2,59
10.	0,67	3,38	0,83	1,93	1,45	0,32	2,64
\emptyset	0,66	3,65	0,82	2,20	1,46	0,60	3,01

Tab. č. 11 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základního smaltu + kaolín T4 6%



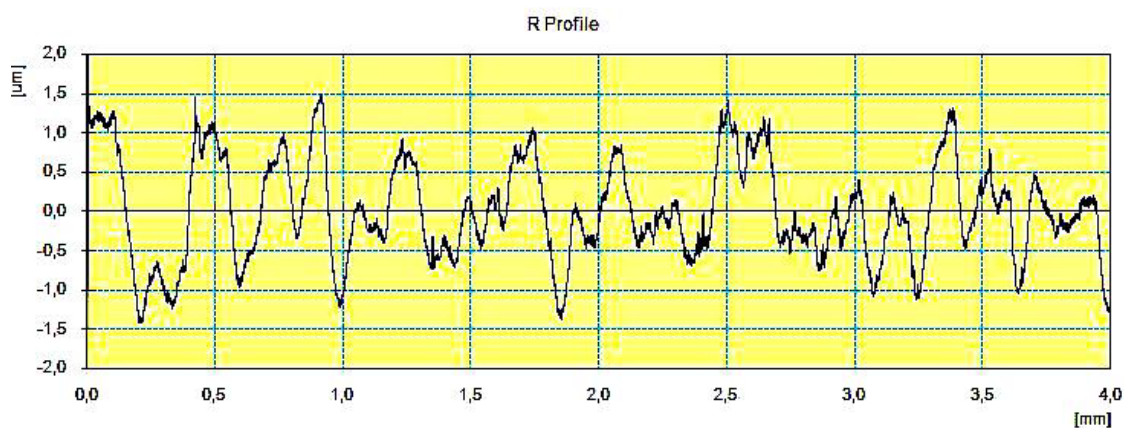
Obr. č. 34 – Profil drsnosti základního smaltu + kaolín T4 6% pro deváté měření

3. Základní smalt + kaolín T3 na vzorku Ti – 14. 4. 2011

- kaolín 6%

Parametry drsnosti Ti - broušený, kartáčovaný (ISO 5832 – 2)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,68	3,36	0,83	1,7	1,66	-0,04	2,35
2.	0,52	2,99	0,66	1,64	1,35	0,22	2,95
3.	0,48	2,65	0,59	1,39	1,26	0,24	2,51
4.	0,52	2,64	0,63	1,35	1,29	0,12	2,48
5.	0,48	2,65	0,58	1,15	1,3	-0,2	2,45
6.	0,67	3,56	0,82	1,6	1,95	-0,3	2,86
7.	0,61	3,35	0,74	1,42	1,92	-0,65	3,13
8.	0,64	3,29	0,83	1,61	1,68	-0,07	2,97
9.	0,62	3,4	0,79	1,61	1,79	-0,08	2,83
10.	0,55	2,9	0,69	1,39	1,51	-0,26	2,81
\emptyset	0,58	3,08	0,72	1,49	1,57	-0,10	2,73

Tab. č. 12 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základního smaltu + kaolín T3 6%



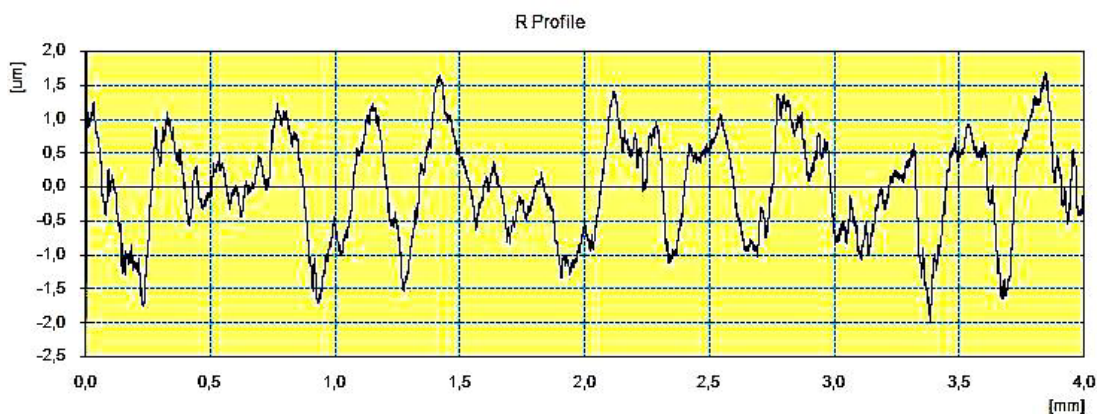
Obr. č. 35 – Profil drsnosti základního smaltu + kaolín T3 6% pro čtvrté měření

4. Základní smalt + kaolín T3 na vzorku Ti6Al4V – 14. 4. 2011

- kaolín 6%

Parametry drsnosti Ti6Al4V (ISO 5832 – 3)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,52	3	0,66	1,58	1,42	0,14	2,92
2.	0,66	3,46	0,79	1,59	1,87	-0,08	2,62
3.	0,55	2,91	0,66	1,42	1,49	0,03	2,35
4.	0,55	3,01	0,7	1,6	1,41	0,05	3,1
5.	0,62	3,05	0,74	1,46	1,59	-0,16	2,2
6.	0,62	3,13	0,76	1,64	1,48	0,21	2,57
7.	0,58	3,08	0,71	1,63	1,45	0,15	2,47
8.	0,57	3,69	0,74	2,17	1,52	0,46	3,72
9.	0,58	3,09	0,71	1,75	1,34	0,35	2,53
10.	0,57	3,38	0,73	1,8	1,58	0,29	2,8
\emptyset	0,58	3,18	0,72	1,66	1,52	0,14	2,73

Tab. č. 13 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základního smaltu + kaolín T3 6%



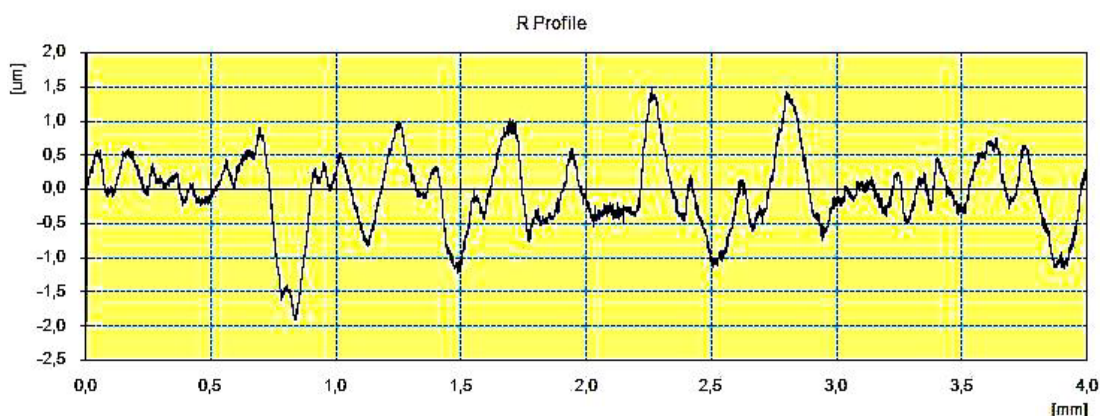
Obr. č. 36 – Profil drsnosti základního smaltu + kaolín T3 6% pro páte měření

5. Základní smalt + jemný jíl MiC na vzorku Ti - 14. 4. 2011

- jemný jíl 3%

Parametry drsnosti Ti - broušený, kartáčovaný (ISO 5832 – 2)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,46	2,78	0,6	1,25	1,53	-0,29	3,71
2.	0,42	2,57	0,54	1,26	1,3	-0,2	3,1
3.	0,62	3,53	0,78	1,38	2,15	-0,83	3,64
4.	0,43	2,29	0,54	0,97	1,31	-0,39	2,96
5.	0,49	2,49	0,6	1,1	1,39	-0,64	2,75
6.	0,41	2,43	0,54	1,1	1,33	-0,46	3,69
7.	0,48	2,66	0,6	1,24	1,42	-0,41	3,08
8.	0,58	4,09	0,84	1,36	2,73	-1,15	4,94
9.	0,51	2,49	0,62	1,13	1,35	-0,59	2,47
10.	0,39	2,13	0,48	0,91	1,22	-0,57	2,76
$\bar{\emptyset}$	0,48	2,75	0,61	1,17	1,57	-0,55	3,31

Tab. č. 14 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základní smalt + jemný jíl MiC 3%



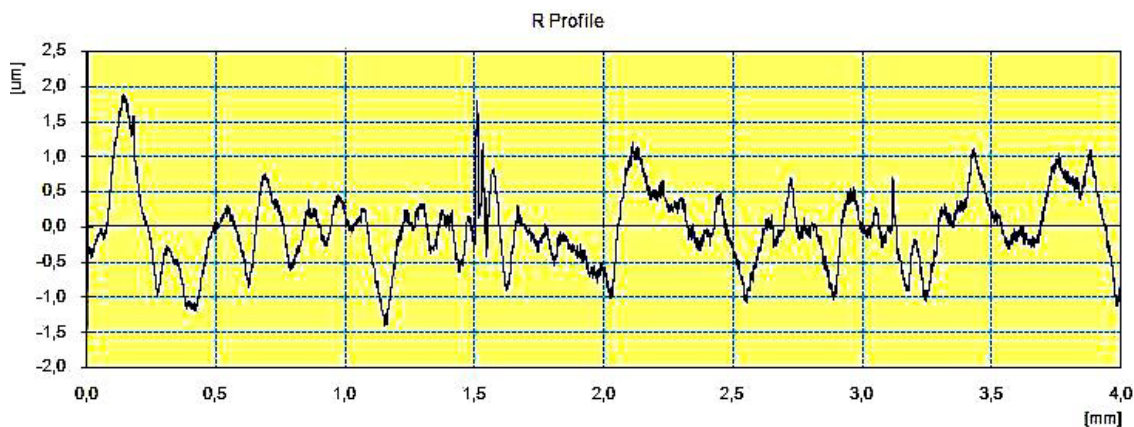
Obr. č. 37 – Profil drsnosti základní smalt + jemný jíl MiC 3% pro šesté měření

6. Základní smalt + jemný jíl MiC 3% na vzorku Ti6Al4V - 14. 4. 2011

- jemný jíl 3%

Parametry drsnosti Ti6Al4V (ISO 5832 – 3)							
Parametry: délka měřeného profilu N = 5 mm, filtr profilu $\lambda_c = 0,8$ mm							
Měření	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
1.	0,56	3,24	0,72	1,42	1,83	-0,19	3,57
2.	0,51	3,18	0,63	1,99	1,19	0,13	2,84
3.	0,59	3,11	0,72	1,55	1,56	-0,2	2,67
4.	0,49	2,54	0,61	1,26	1,28	-0,02	2,68
5.	0,52	2,66	0,63	1,34	1,32	-0,29	2,74
6.	0,69	3,6	0,86	1,87	1,73	0,02	2,56
7.	0,46	2,56	0,58	1,27	1,29	-0,01	2,53
8.	0,41	2,5	0,53	1,33	1,17	-0,12	3,23
9.	0,46	2,47	0,56	1,4	1,07	0,02	2,77
10.	0,6	3,07	0,73	1,33	1,74	-0,5	2,92
\emptyset	0,53	2,89	0,66	1,48	1,42	-0,12	2,85

Tab. č. 15 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti základní smalt + jemný jíl MiC 3%

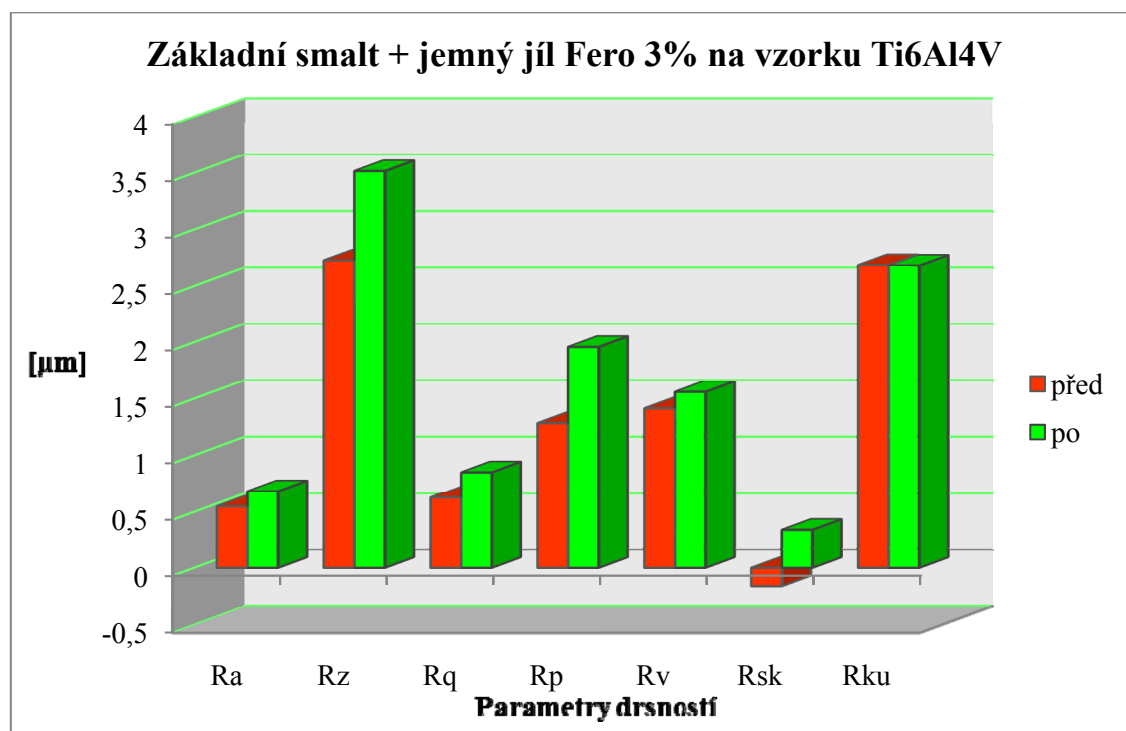


Obr. č. 38 – Profil drsnosti základní smalt + jemný jíl MiC 3% pro osmé měření

10.4. Grafické zhodnocení rozdílů drsnosti povrchu sklokeramických povlaků před ponorem do fyziologického roztoku a po vytažení.

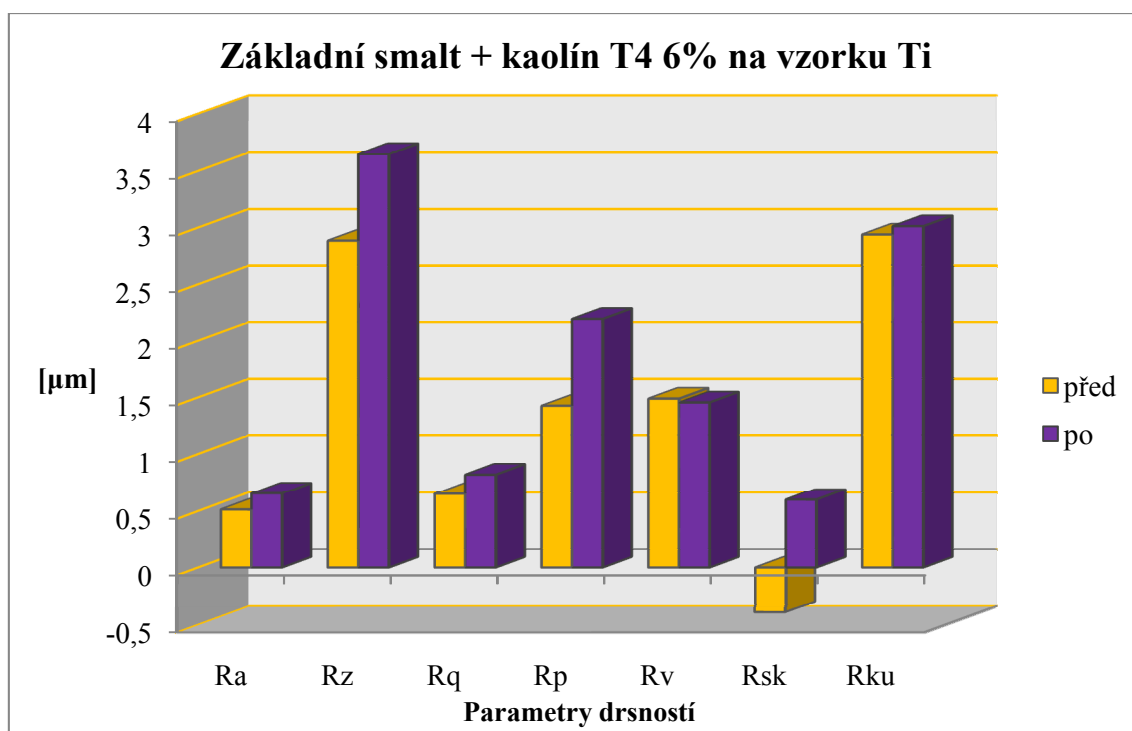
V grafech jsou porovnány průměrné hodnoty drsnosti jednotlivých smaltovaných povrchů před ponorem do fyziologického roztoku a po jejich vytažení. Jsou zde viditelné rozdíly základních parametrů.

Zdali součinitel asymetrie R_{sk} vykazuje záporné hodnoty, vypovídá to o dobrých vlastnostech nosnosti profilu. Povrch vzorku je zaoblenějšího charakteru. Jestliže vykazuje hodnoty kladné, značí to horší vlastnosti nosnosti profilu. Povrch vzorku je ostřejšího charakteru. Střední aritmetickou úchylkou neurčíme tvar drsnosti povrchu, proto měříme více parametrů drsnosti. Hodnota R_z nám udává součet nejvyššího výstupku a nejnižší hloubky prohlubně.



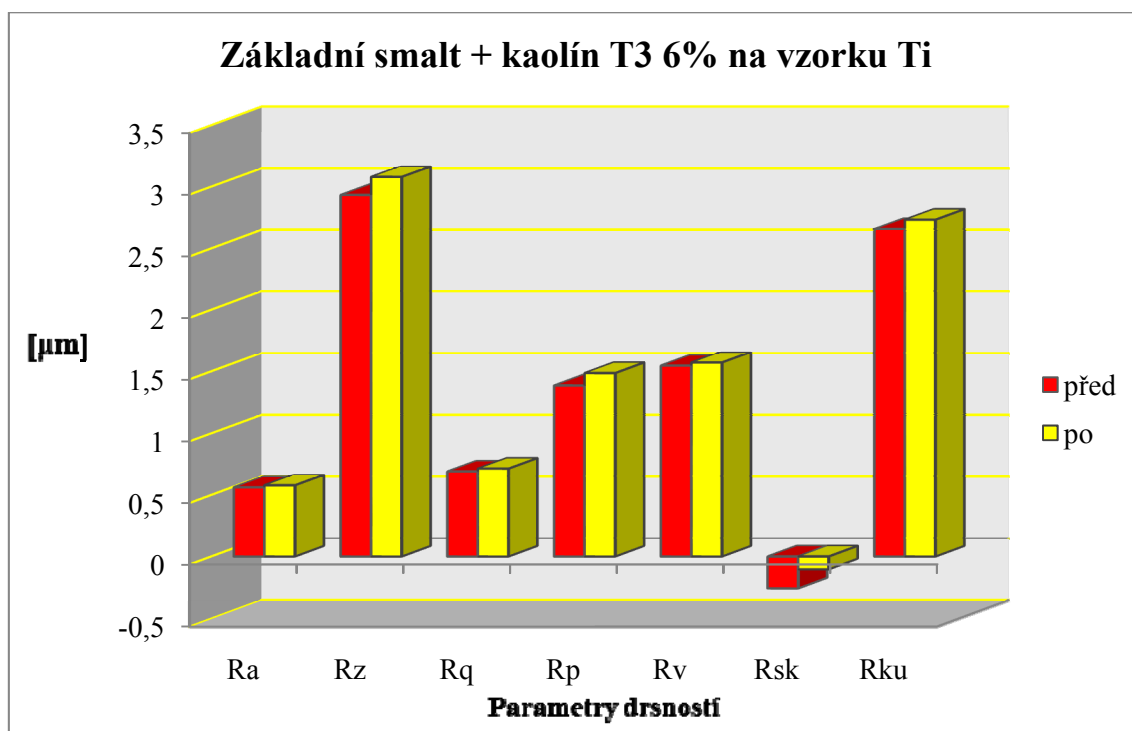
Graf č. 1 – Grafické zhodnocení rozdílů průměrných hodnot, základní smalt + jemný jíl Ferro 3% na vzorku Ti6Al4V

Graf č. 1 znázorňuje viditelné rozdíly průměrných hodnot drsnosti u základního smaltu + jemný jíl Ferro 3% na vzorku Ti6Al4V. Největší rozdíly se nám projevují na parametru R_z , který byl před aplikací do fyziologického roztoku roven $2,73 \mu\text{m}$ a po vytažení $3,52 \mu\text{m}$. Podstatná změna nastala u šikmosti posuzovaného profilu R_{sk} , kde záporná hodnota odpovídá dobrým vlastnostem nosnosti profilu. Po vytažení z biologického prostředí se tato vlastnost zhoršila.



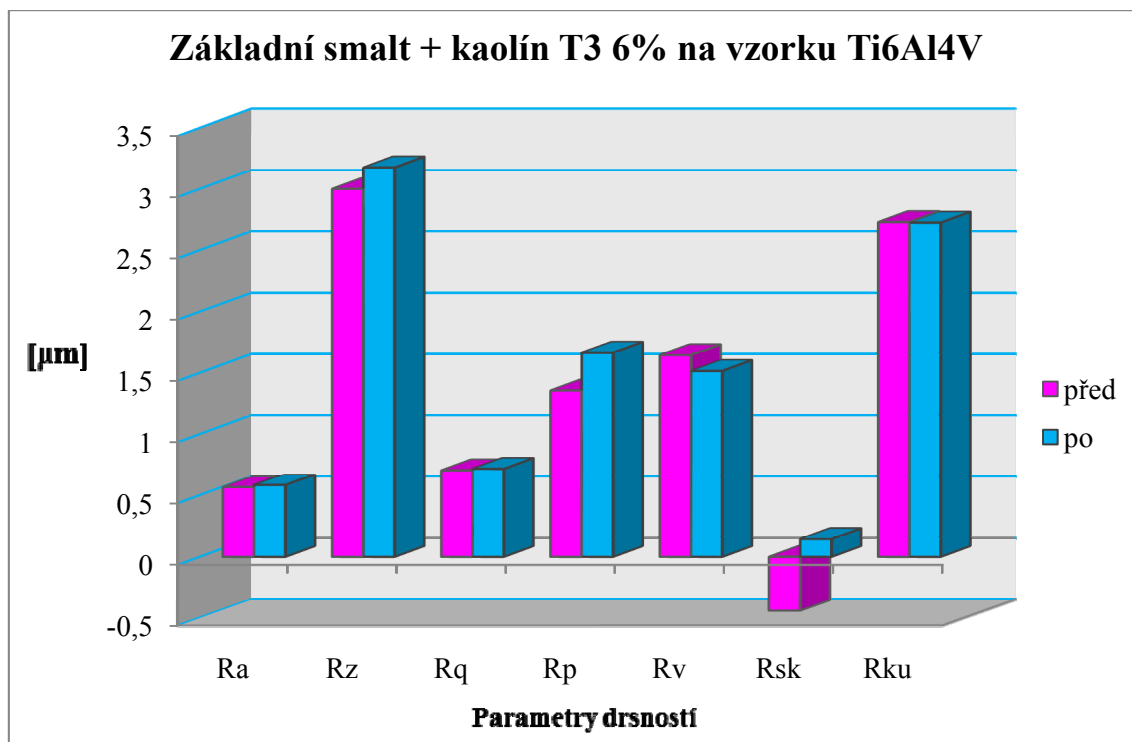
Graf č. 2 – Grafické zhodnocení rozdílů průměrných hodnot, základní smalt + kaolín T4 6%

Na grafu č. 2 jsou patrné změny velikosti největší výšky profilu Rz. Po vytažení z fyziologického roztoku se zvýšila průměrná hodnota největší výšky výstupku Rp z $1,43 \mu\text{m}$ na $2,20 \mu\text{m}$. Opět došlo ke zhoršení vlastnosti nosnosti profilu, parametr Rsk se zvýšil na hodnotu $0,60 \mu\text{m}$.



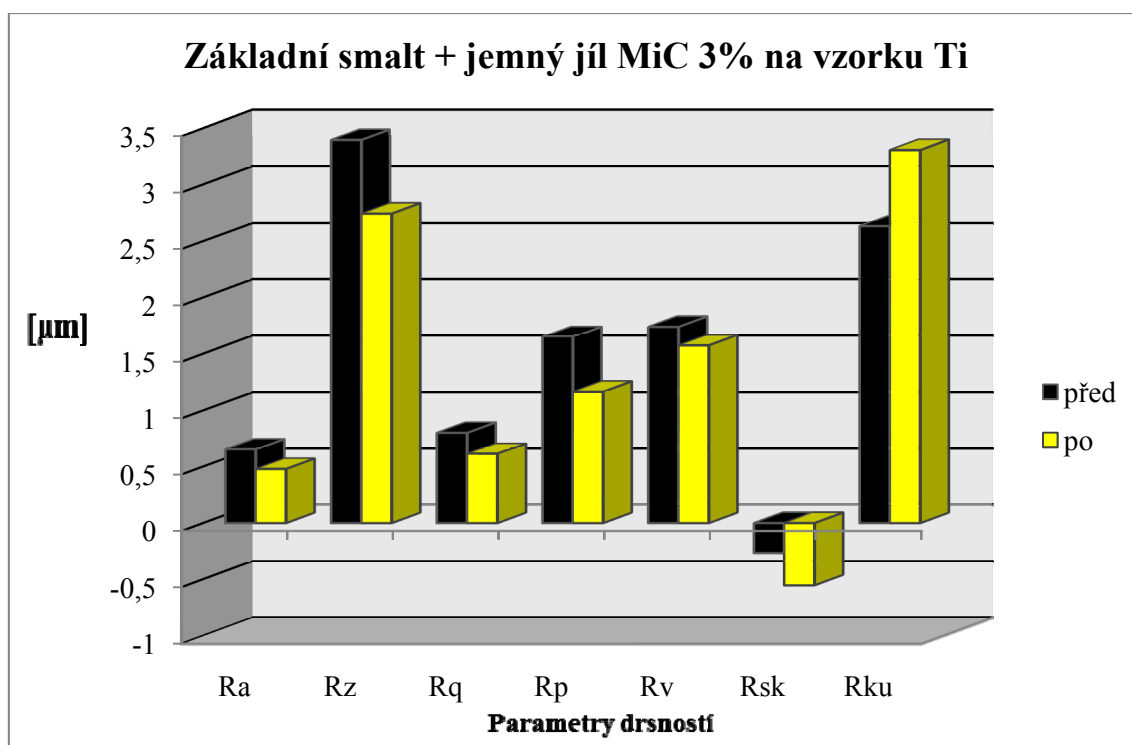
Graf č. 3 – Grafické zhodnocení rozdílů průměrných hodnot, základní smalt + kaolín T3 6%

Třetí grafické zhodnocení (graf č. 3) základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti udává malé změny v rozdílech průměrných hodnot drsnosti před aplikací do fyziologického roztoku a po jeho vytažení. Parametr šikmosti posuzovaného profilu Rsk se v obou případech vyskytuje v záporných hodnotách.



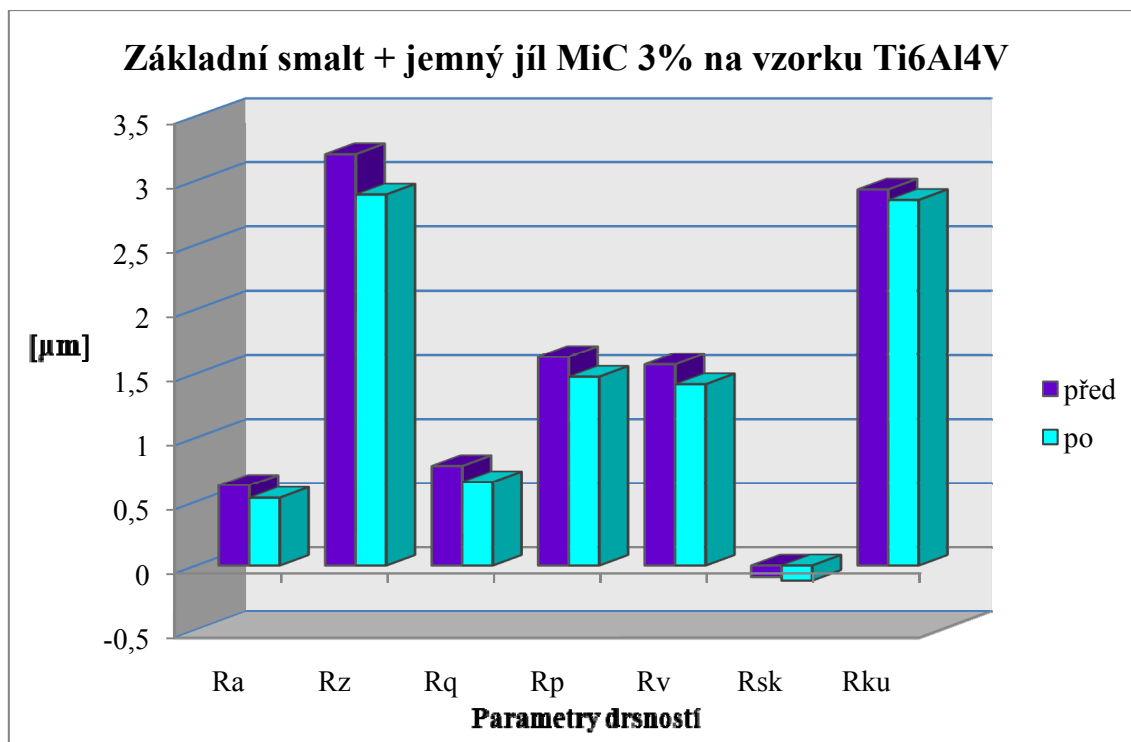
Graf č. 4 – Grafické zhodnocení rozdílů průměrných hodnot, základní smalt + kaolín T3 6%

Graf č. 4 vykresluje rozdíly průměrných hodnot drsnosti základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti6Al4V. Jednotlivé velikosti daných parametrů jsou velmi podobné. Znovu se nám zhoršila kvalita vlastnosti nosnosti profilu. Po vytažení z fyziologického roztoku se Rsk zvýšilo na 0,14 μm .



Graf č. 5 – Grafické zhodnocení rozdílů průměrných hodnot, základní smalt + jemný jíl MiC 3%

Na grafu č. 5 jsou zaznamenány změny drsnosti povrchu základního smaltu + jemný jíl MiC 3% na vzorku Ti. Šikmost posuzovaného profilu se pohybuje v záporných hodnotách. Povrch má dobré vlastnosti nosnosti profilu. Největší výška profilu Rz nám po vytažení z fyziologického roztoku klesla na hodnotu 2,75 μm, zatímco špičatost posuzovaného profilu Rku se zvýšila z 2,63 μm na 3,31 μm.



Graf č. 6 – Grafické zhodnocení rozdílů průměrných hodnot, základní smalt + jemný jíl MiC 3%

Na grafickém zhodnocení průměrných hodnot drsnosti (graf č. 6) základního smaltu + jemný jíl MiC 3% na vzorku Ti6Al4V je zřejmé, že se velikosti daných parametrů po vytažení z biologického prostředí snížily. Hodnoty Rsk jsou záporné v obou případech.

10.5. Vyhodnocení měření granulometrie použitých jíílů a kaolínů

Základní hodnoty:

- $d(0.1)$ – 10% vzorku je pod tuto hodnotu;
- $d(0.5)$ – 50% vzorku je pod tuto hodnotu (tato hodnota dělí plochu křivky na dvě identické poloviny);
- $d(0.9)$ – 90% vzorku je pod tuto hodnotu;
- d_{50} – střední zrna (okolo této hodnoty se vyskytuje největší množství daného vzorku)
- span (šířka distribuce) – $[d(0.9)-d(0.1)]/d(0.5)$

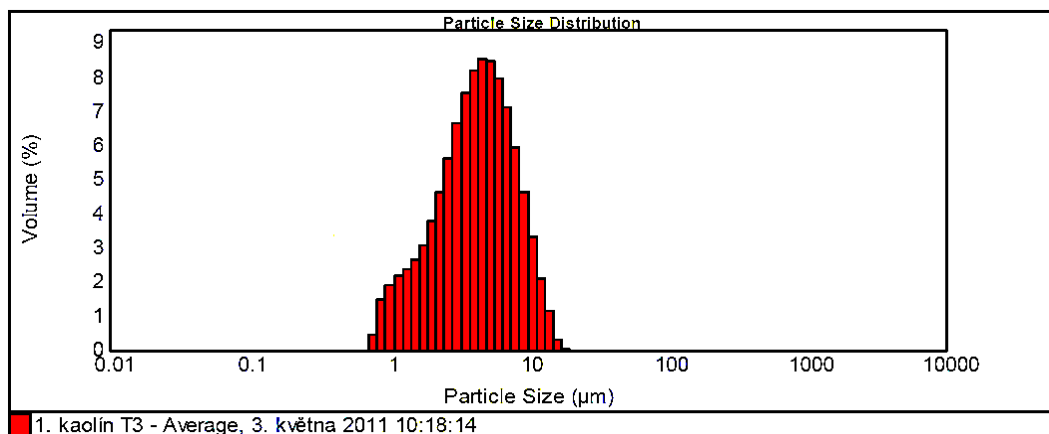
Název vzorku	$d(0.1)[\mu\text{m}]$	$d(0.5)[\mu\text{m}]$	$d(0.9)[\mu\text{m}]$	$d_{50}[\mu\text{m}]$	Span
1. Kaolín T3 record number = 71 (rekordní počet)	1,575	4,328	9,072	4,890	1,732
2. Kaolín T4 record number = 75	1,159	3,115	6,613	3,802	1,751
3. Jíl jemný Ferro record number = 79	1,090	2,243	4,589	2,502	1,560
4. Jíl jemný Mic record number = 71	1,102	3,046	10,904	3,184	3,218

Tab. č. 16 - Měření granulometrie vzorků

10.5.1. Výsledky analýzy na vzorku kaolín T3

Označení vzorku:	Název SOP:	Měřeno:	
1. kaolín T3 - Average	Kaolinite low (nízká)	3. května 2011 10:18:14	
Zdroj vzorku a typ:	Měřil:	Analyzováno:	
Works = kat345	Brázda Robert	3. května 2011 10:18:15	
Sample bulk lot (refereční podíl velikosti vzorku):	Zdroj výsledku:		
3.5.2011	Averaged (průměrně)		
Název částice:	Název příslušenství:	Model analýzy:	Citlivost:
Kaolinite low (nízká)	Hydro 2000MU (A)	General purpose (Pro všeobecné použití)	Enhanced (rozšířené)
Refrakční index částice:	Absorpce:	Rozsah měření:	Zastínění:
1.533	0.1	0.020 do 2000.000 μm	22.83%
Název dispersantu:	Refrakční index dispersantu:	Váhový rozdíl:	Výsledek emulace:
Water (voda)	1.330	3.621 %	Off
Koncentrace:	Span (šířka distribuce):	Uniformity(jednotnost):	Jednotky výsledku:
0.0109 %Vol	1.732	0.529	Volume
Specific Surface Area (specifický povrch):	Surface Weighted Mean (povrchově vážený průměr) D[3,2]:	Vol. Weighted Mean (objemově vážený průměr) D[4,3]:	Kurtosis (špičatost):
1.85 m/g	3.241 μm	4.922 μm	0.856
d(0.1): 1.575 μm	d(0.5): 4.328 μm	d(0.9): 9.072 μm	d50: 4.89 μm

Tab. č. 17 – Výsledky analýzy vzorku kaolín T3

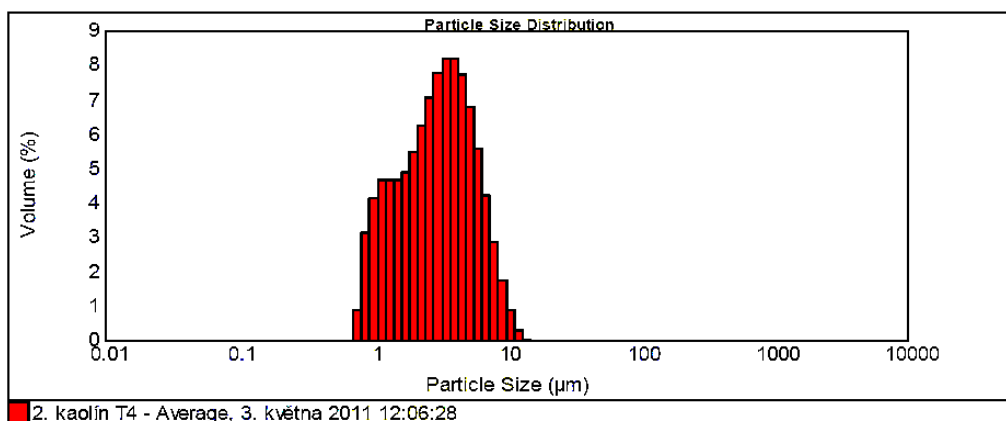


Obr. č. 38 – Grafické zpracování výsledků analýzy

10.5.2. Výsledky analýzy na vzorku kaolín T4

Označení vzorku:	Název SOP:	Měřeno:	
2. kaolín T4 - Average	Kaolinite low (nízká)	3. května 2011 12:06:28	
Zdroj vzorku a typ:	Měřil:	Analyzováno:	
Works =kat345	Brázda Robert	3. května 2011 12:06:29	
Sample bulk lot ref (refreferenční podíl velikosti vzorku)::	Zdroj výsledku:		
3.5.2011	Averaged (průměrně)		
Název částice:	Název příslušenství:	Model analýzy:	Citlivost:
Kaolinite low (nízká)	Hydro 2000MU (A)	General purpose (Pro všeobecné použití)	Enhanced (rozšířené)
Refrakční index částice:	Absorpce:	Rozsah měření:	Zastínění:
1.533	0.1	0.020 do 2000.000 μm	26.13%
Název dispersantu:	Refrakční index dispersantu:	Váhový rozdíl:	Výsledek emulace:
Water (voda)	1.330	5.049 %	Off
Koncentrace:	Span (šířka distribuce) :	Uniformity (jednotnost):	Jednotky výsledku:
0.0094 %Vol	1.751	0.547	Volume
Specific Surface Area (specifický povrch):	Surface Weighted Mean (povrchově vážený průměr) D[3,2]:	Vol. Weighted Mean (objemově vážený průměr) D[4,3]:	Kurtosis (špičatost)::
2.5 m/g	2.398 μm	3.563 μm	1.014
d(0.1): 1.159 μm	d(0.5): 3.115 μm	d(0.9): 6.613 μm	d50: 3.802 μm

Tab. č. 18 – Výsledky analýzy vzorku kaolín T4

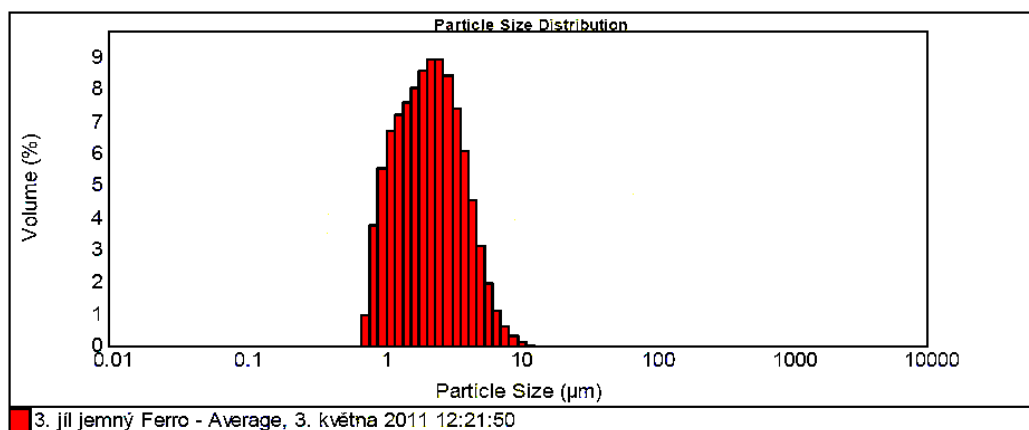


Obr. č. 39 – Grafické zpracování výsledků analýzy

10.5.3. Výsledky analýzy na vzorku jemný jíl Fero

Označení vzorku:	Název SOP:	Měřeno:	
3. jíl jemný F.-Average	Kaolinite low (nízká)	3. května 2011 12:21:50	
Zdroj vzorku a typ:	Měřil:	Analyzováno:	
Works =kat345	Brázda Robert	3. května 2011 12:21:51	
Sample bulk lot ref (refreferenční podíl velikosti vzorku):	Zdroj výsledku:		
3.5.2011	Averaged (průměrně)		
Název částice:	Název příslušenství:	Model analýzy:	Citlivost:
Kaolinite low (nízká)	Hydro 2000MU (A)	General purpose (Pro všeobecné použití)	Enhanced (rozšířeně)
Refrakční index částice:	Absorpce:	Rozsah měření:	Zastínění:
1.533	0.1	0.020 do 2000.000 μm	20.20%
Název dispersantu:	Refrakční index dispersantu:	Váhový rozdíl:	Výsledek emulace:
Water (voda)	1.330	6.739 %	Off
Koncentrace:	Span (šířka distribuce) :	Uniformity (jednotnost):	Jednotky výsledku:
0.0033 %Vol	1.560	0.498	Volume
Specific Surface Area (specifický povrch):	Surface Weighted Mean (povrchově vážený průměr)D[3,2]:	Vol. Weighted Mean (objemově vážený průměr)D[4,3]:	Kurtosis (špičatost)::
3.07 m/g	1.955 μm	2.606 μm	3.36
d(0.1): 1.090 μm	d(0.5): 2.243 μm	d(0.9): 4.589 μm	d50: 2.502 μm

Tab. č. 19 – Výsledky analýzy vzorku jemný jíl Fero

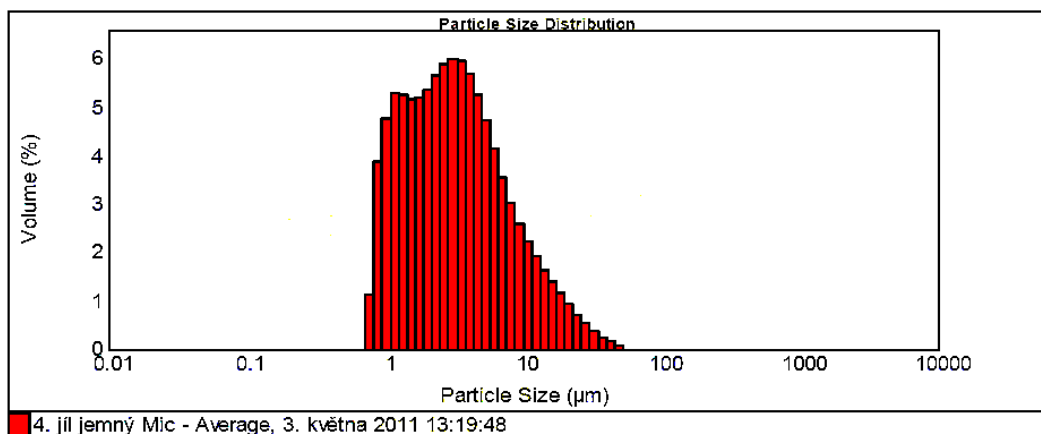


Obr. č. 40 – Grafické zpracování výsledků analýzy

10.5.4. Výsledky analýzy na vzorku jemný jíl MiC

Označení vzorku:	Název SOP:	Měřeno:	
4. jíl jemný M.-Average	Kaolinite low (nízká)	3. května 2011 13:19:48	
Zdroj vzorku a typ:	Měřil:	Analyzováno:	
Works =kat345	Brázda Robert	3. května 2011 13:19:49	
Sample bulk lot ref (refreferenční podíl velikosti vzorku):	Zdroj výsledku:		
3.5.2011	Averaged (průměrně)		
Název částice:	Název příslušenství:	Model analýzy:	Citlivost:
Kaolinite low (nízká)	Hydro 2000MU (A)	General purpose (Pro všeobecné použití)	Enhanced (rozšířené)
Refrakční index částice:	Absorpce:	Rozsah měření:	Zastínění:
1.533	0.1	0.020 do 2000.000 μm	13.12%
Název dispersantu:	Refrakční index dispersantu:	Váhový rozdíl:	Výsledek emulace:
Water (voda)	1.330	4.854 %	Off
Koncentrace:	Span (šířka distribuce) :	Uniformity (jednotnost):	Jednotky výsledku:
0.0044 %Vol	3.218	1.05	Volume
Specific Surface Area (specifický povrch):	Surface Weighted Mean(povrchově vážený průměr) D[3,2]:	Vol. Weighted Mean(objemově vážený průměr) D[4,3]:	Kurtosis (špičatost)::
2.52 m/g	2.382 μm	4.934 μm	13.058
d(0.1): 1.102 μm	d(0.5): 23.046 μm	d(0.9): 10.904 μm	d50: 3.184 μm

Tab. č. 19 – Výsledky analýzy vzorku jemný jíl MiC



Obr. č. 41 – Grafické zpracování výsledků analýzy

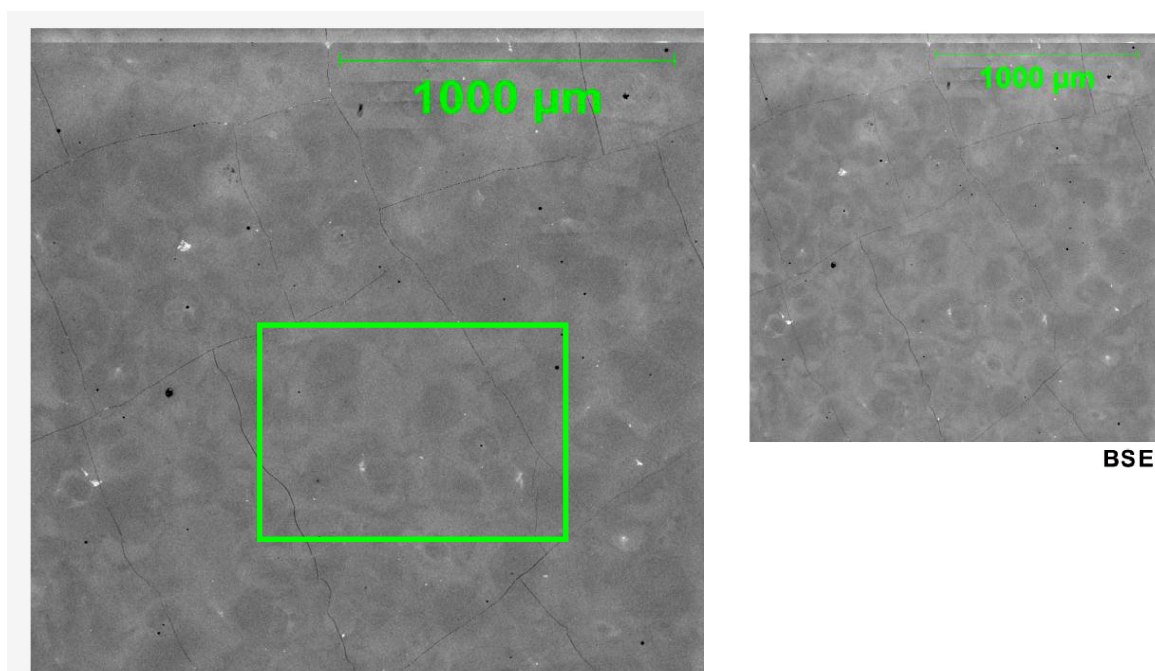
10.6. Vyhodnocení mikroskopické analýzy povrchu vzorků pomocí SEM

Fotodokumentace povrchu vzorků byla provedena na řádkovacím elektronovém mikroskopu. Snímky jednotlivých povrchů byly pořízeny na přístroji ASPEX PSEM eXplorer v laboratoři CPIT (centrum pokročilých inovačních technologií) VŠB-TU Ostrava. Velkou výhodou je hloubka ostrosti a určení chemického složení v daném místě zkoumání povrchu vzorku. V našem případě jsou smaltované vzorky nevodivé, což způsobuje zpětné odražení elektronů. Tento jev se projevuje na daných snímcích jednotlivých vzorků znatelnými bílými stopami.

10.6.1. Mikroskopická analýza - Základní smalt + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V

Měření vzorku před ponorem do fyziologického roztoku

Na obrázku č. 43 je zobrazen detail povrchu se 100 násobným zvětšením. Je zde znázorněna plocha, na které byla provedena chemická analýza zkoumaného povrchu.

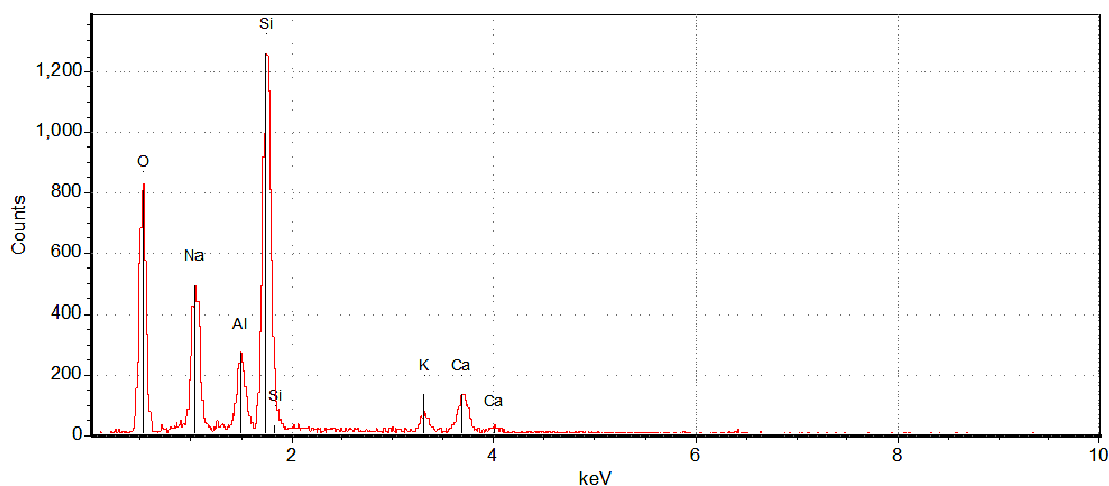


Obr. č. 43 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	19.02 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (dobu měření)	54.72 s

Tab. č. 20 – Parametry měření

Výsledky chemické analýzy dané oblasti jsou znázorněny na obr. č. 44. Kritéria měření jsou uvedeny v tabulce č. 20 a přesnější popis chemického rozboru je představen v tabulce č. 21.



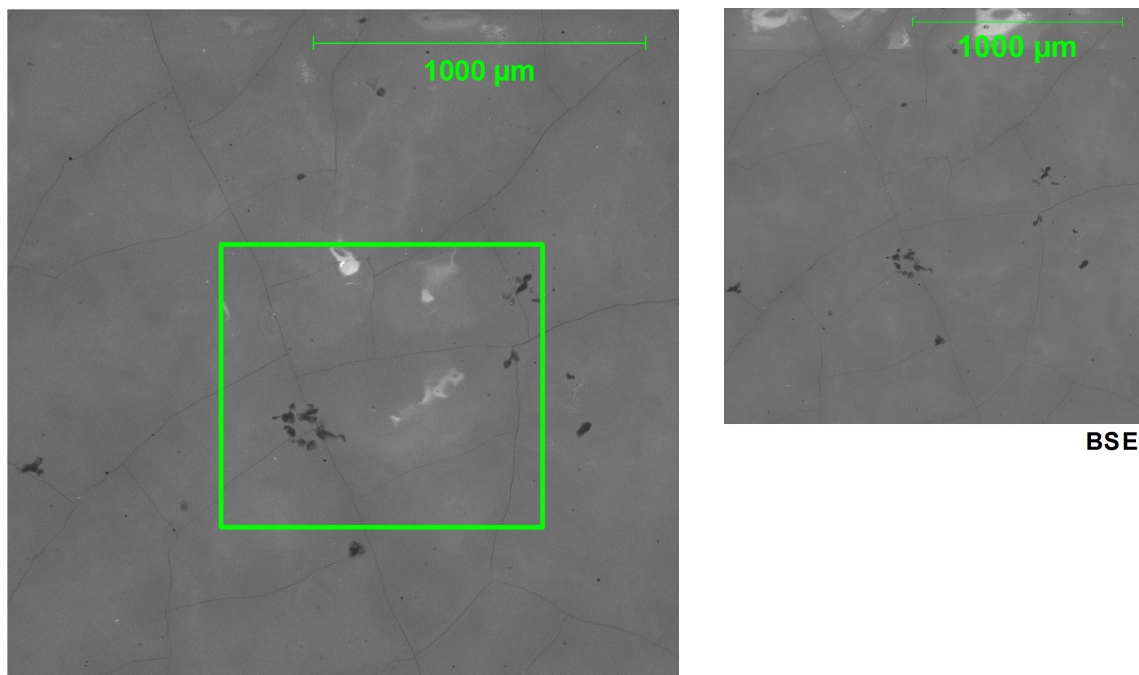
Obr. č. 44 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 43)

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	71.9
Na	10.0
Al	2.2
Si	11.0
P	0.2
Cl	0.1
K	2.4
Ca	2.2

Tab. č. 21 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V

Měření vzorku po vytažení z fyziologického roztoku po 10 dnech expozice

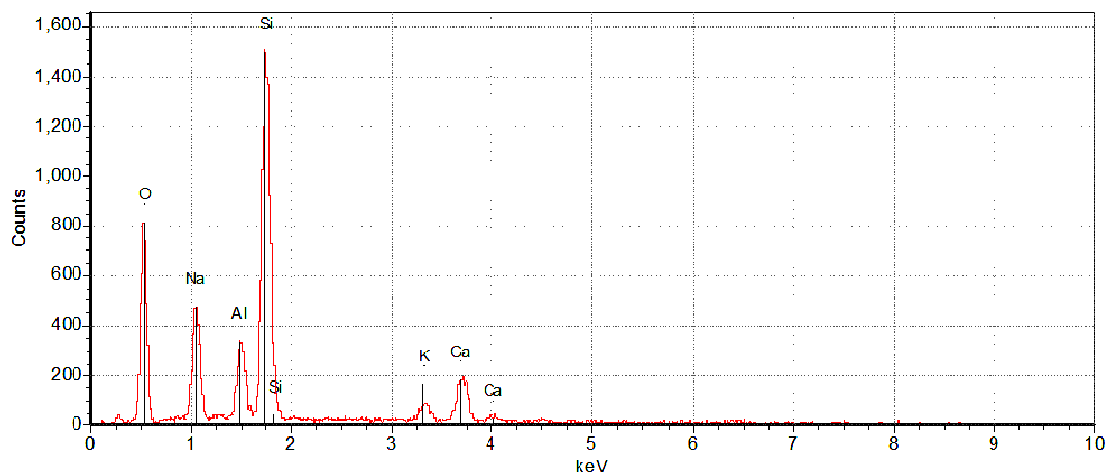
Na obrázku č. 45 je vyfocen povrch zkoumaného vzorku po vytažení z fyziologického roztoku se 100 násobným zvětšením.



Obr. č. 45 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	18.6 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	57.20 s

Tab. č. 22 – Parametry měření

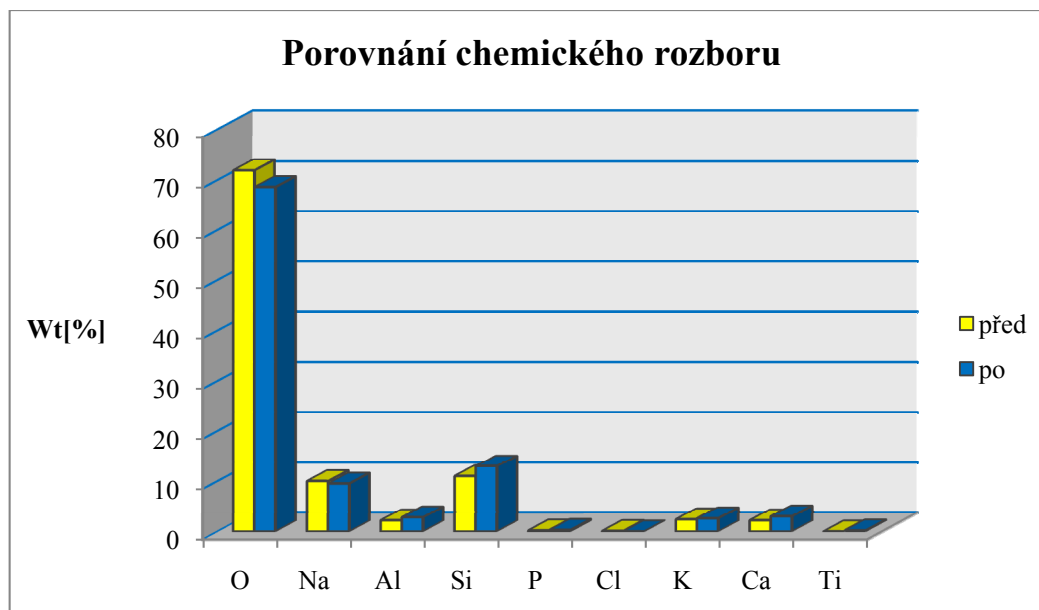


Obr. č. 46 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 45)

Z obrázku č. 46 a tabulky č. 23 lze zjistit chemické složení v určeném místě, které je znázorněno na obrázku č. 45.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	68.6
Na	9.5
Al	2.8
Si	13.0
P	0.3
K	2.6
Ca	3.0
Ti	0.2

Tab. č. 23 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V



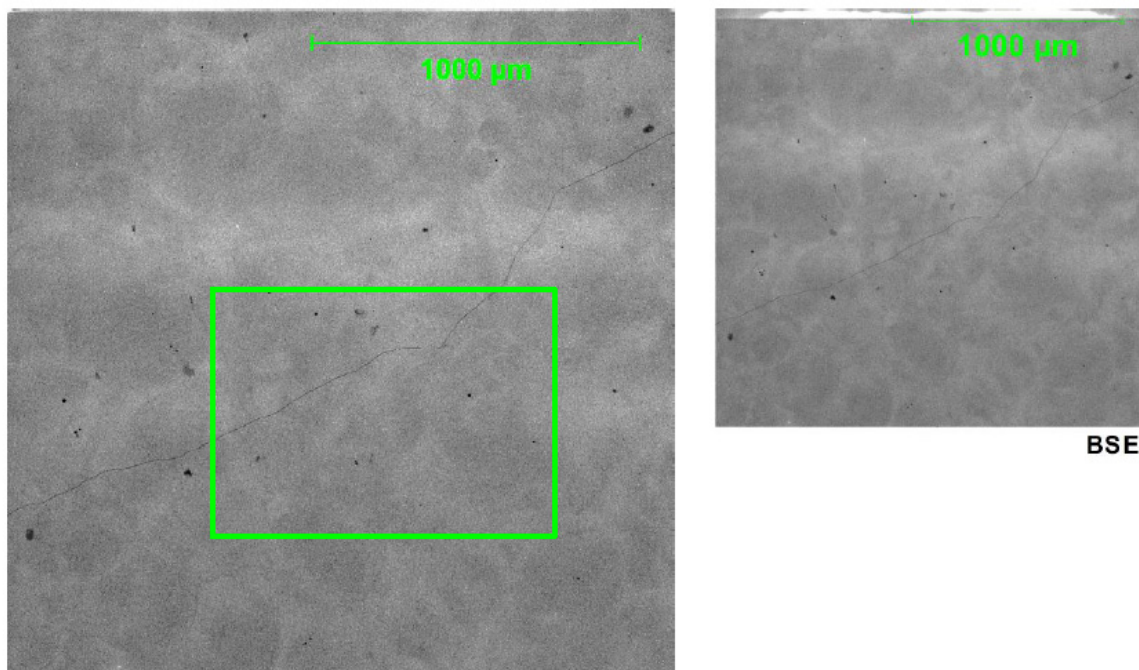
Graf č. 7 – Grafické zhodnocení rozdílů chemické analýzy, základní smalt + jemný jíl Fero 3% na vzorku Ti6Al4V

Na grafu č. 7 jsou znázorněny rozdíly chemického složení vzorku, před aplikací do fyziologického roztoku a po jeho vytažení. Největší zastoupení má kyslík a v menší míře se vyskytuje sodík, hliník a také křemík. Rozdíly daných prvků jsou malé.

10.6.2. Mikroskopická analýza - Základní smalt + kaolín T4 na vzorku Ti

Měření vzorku před ponorem do fyziologického roztoku

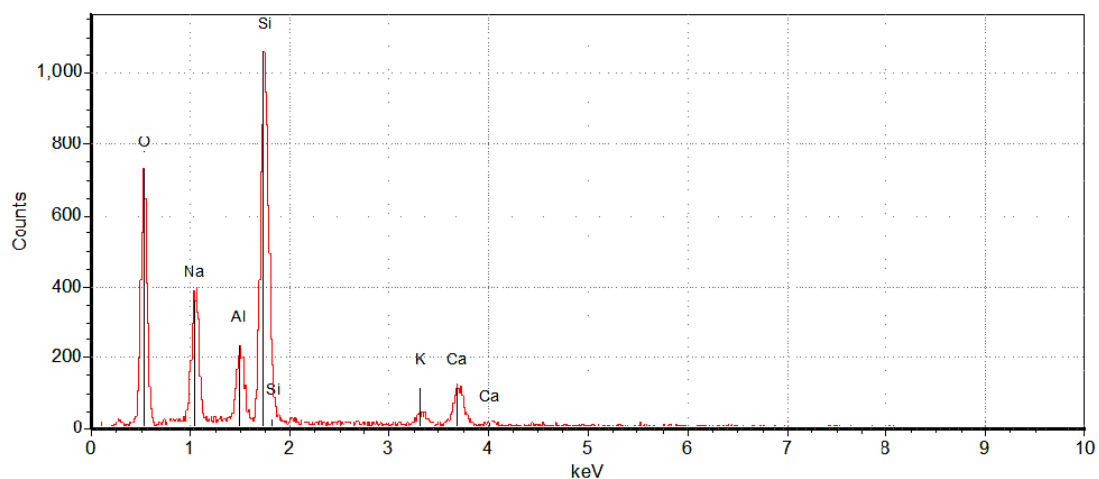
Obrázek č. 47 zachycuje povrch zkoumaného vzorku základního smaltu + kaolín T4 na vzorku Ti. Také znázorňuje oblast, na které se určuje chemická analýza povrchu. Povrch je přiblížen 100 násobně.



Obr. č. 47 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	19.2 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	44.5 s

Tab. č. 24 – Parametry měření



Obr. č. 48 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 47)

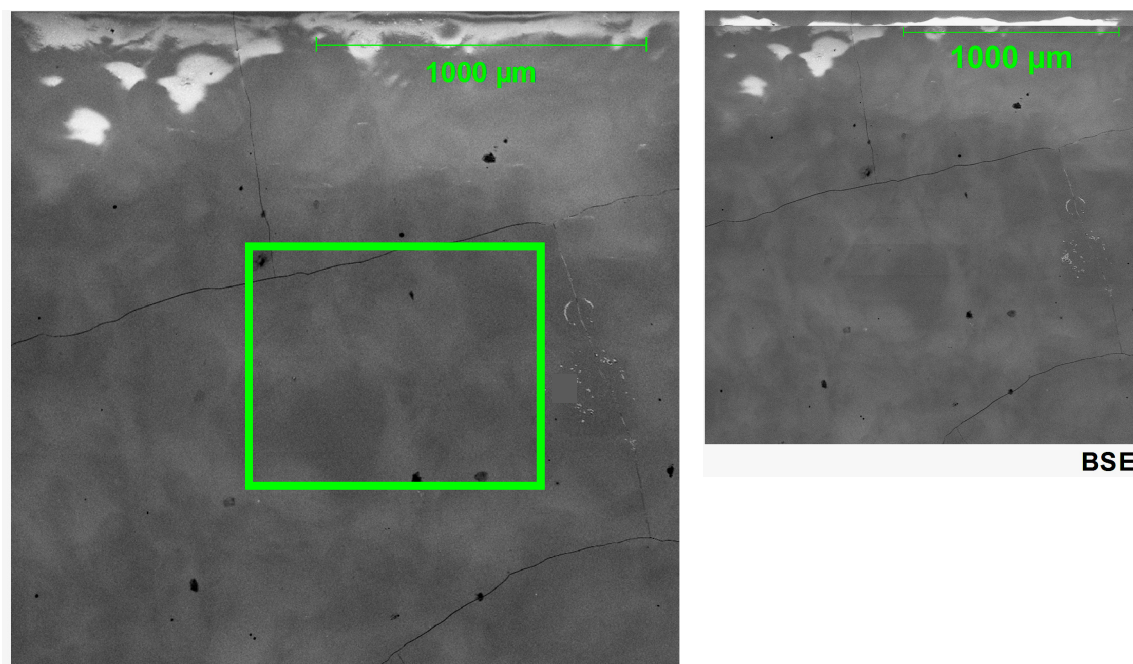
Obrázek č. 48 znázorňuje chemické složení povrchu. Přehledný chemický rozbor zkoumaného vzorku je zaznamenán v tabulce č. 25.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	73.4
Na	9.3
Al	2.2
Si	10.6
P	0.2
K	1.7
Ca	2.4
Ti	0.2

Tab. č. 25 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + kaolín T4 na vzorku Ti

Měření vzorku po vytažení z fyziologického roztoku po 10 dnech expozice

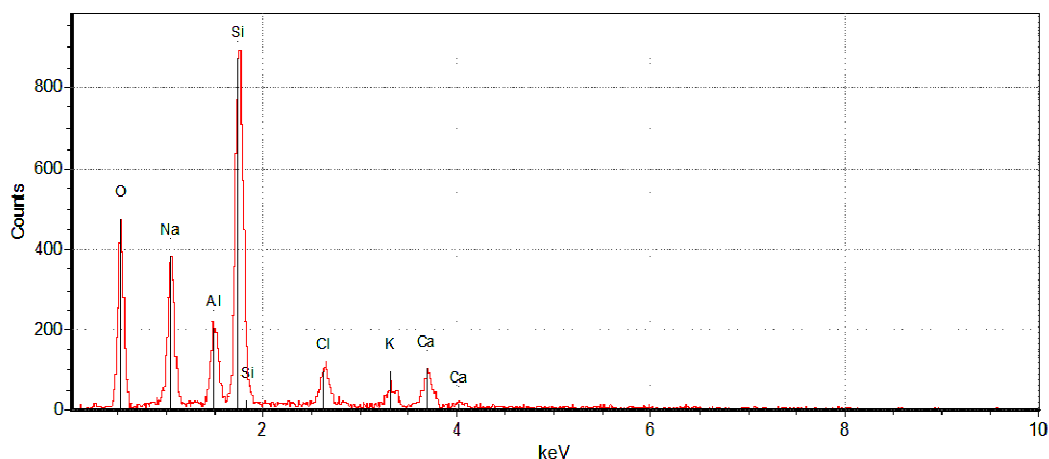
Obrázek č. 49 prezentuje povrch zkoumaného vzorku po vytažení z fyziologického roztoku se 100 násobným zvětšením. Parametry měření jsou uvedeny v tabulce č. 25.



Obr. č. 49 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlovací napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	19.2 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	45.71 s

Tab. č. 26 – Parametry měření

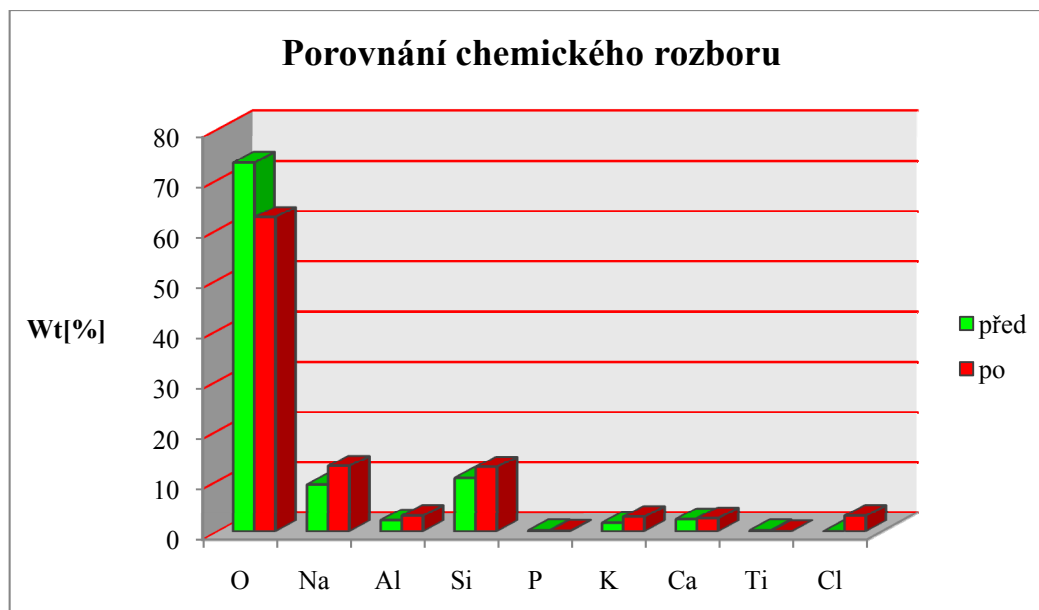


Obr. č. 50 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 49)

Obrázek č. 50 graficky udává chemickou analýzu povrchu. Bližší určení chemického rozboru je zaznamenáno v tabulce č. 27.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	62.5
Na	13.0
Al	3.1
Si	12.8
P	0.1
Cl	3.1
K	2.9
Ca	2.6

Tab. č. 27 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + kaolín T4 na vzorku Ti



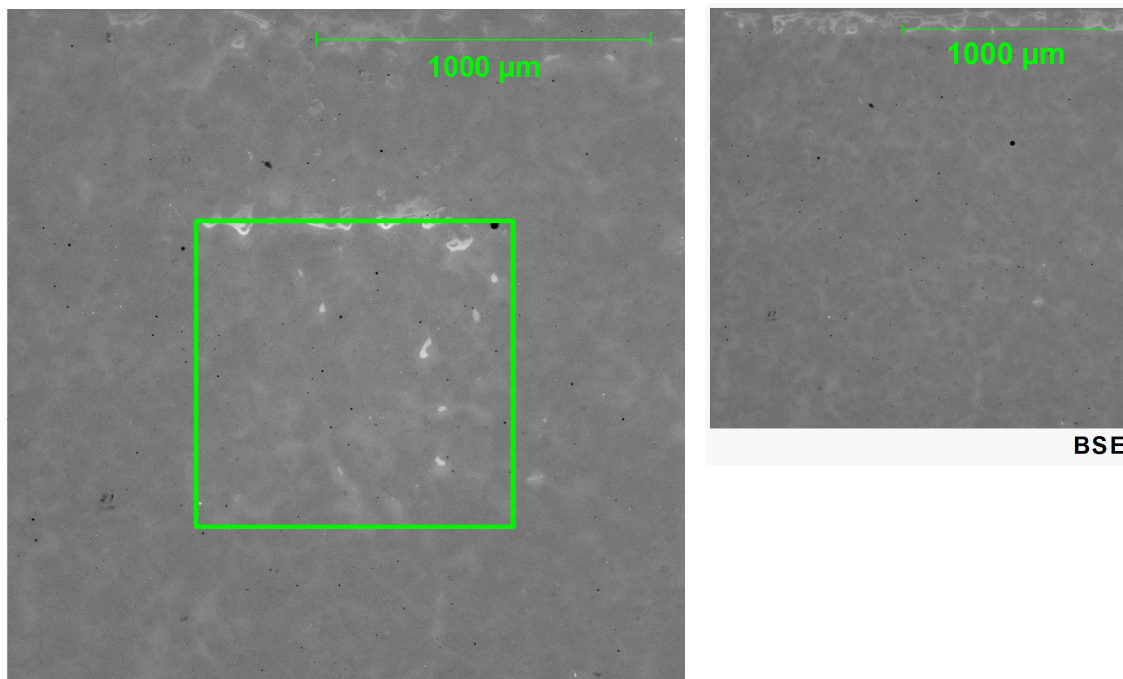
Graf č. 8 – Grafické zhodnocení rozdílů chemické analýzy, základní smalt + kaolín T4 na vzorku
Ti

Graf č. 8 nám zobrazuje odlišnosti chemického složení vzorku, před aplikací do fyziologického roztoku a po jeho vytažení. Nejmocnější zastoupení má opět kyslík a dále sodík, křemík, hliník. Minimálně se zde také vyskytuje chlorid, který se po vytažení značně zvýšil.

10.6.3. Mikroskopická analýza - Základní smalt + kaolín T3 na vzorku Ti

Měření vzorku před ponorem do fyziologického roztoku

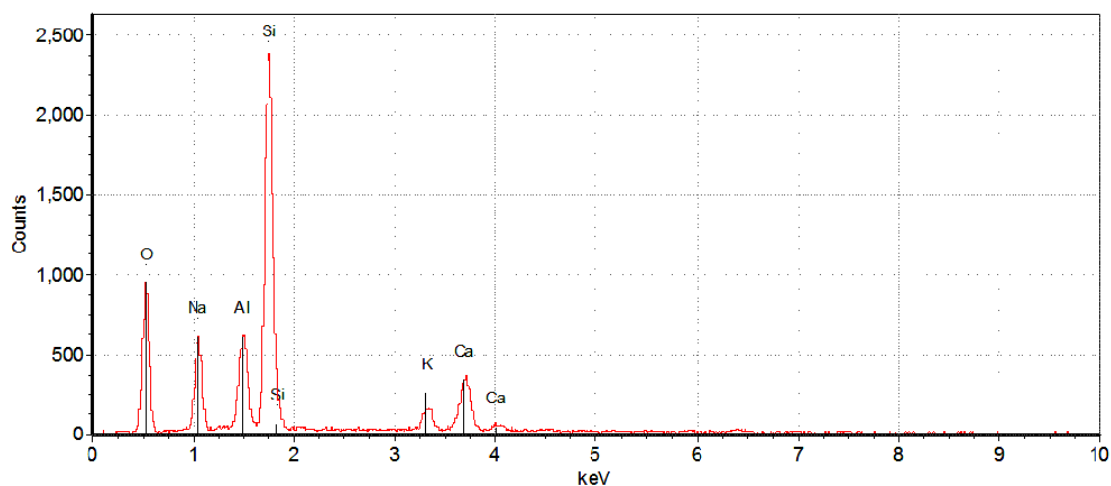
Obrázek č. 51 je znázorněn pomocí odražených elektronů (BSE). Povrch zkoumaného vzorku před ponorem do roztoku je zobrazen se 100 násobným zvětšením. Parametry měření jsou uvedeny v tabulce č. 28.



Obr. č. 51 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	25.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	18.9 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	51.49 s

Tab. č. 28 – Parametry měření



Obr. č. 52 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 51)

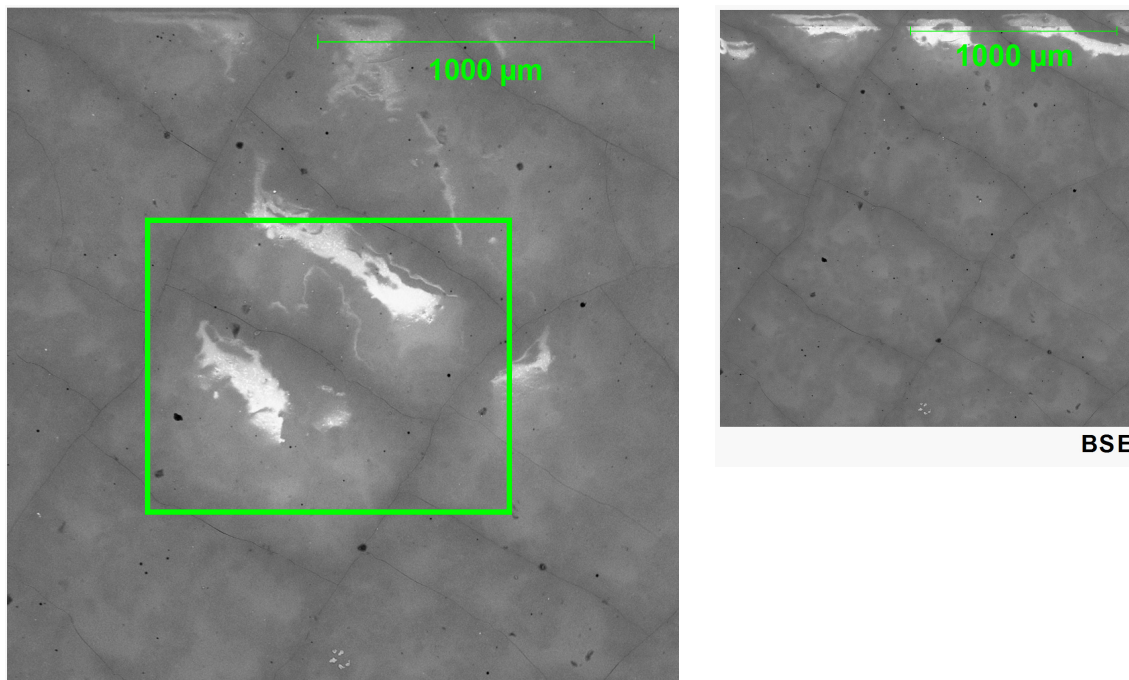
Z obrázku č. 52 a tabulky č. 29 lze určit chemické složení vymezené plochy, která je znázorněna na obrázku č. 51.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	61.3
Na	9.2
Al	4.2
Si	16.2
K	4.6
Ca	4.6

Tab. č. 29 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti

Měření vzorku po vytažení z fyziologického roztoku po 10 dnech expozice

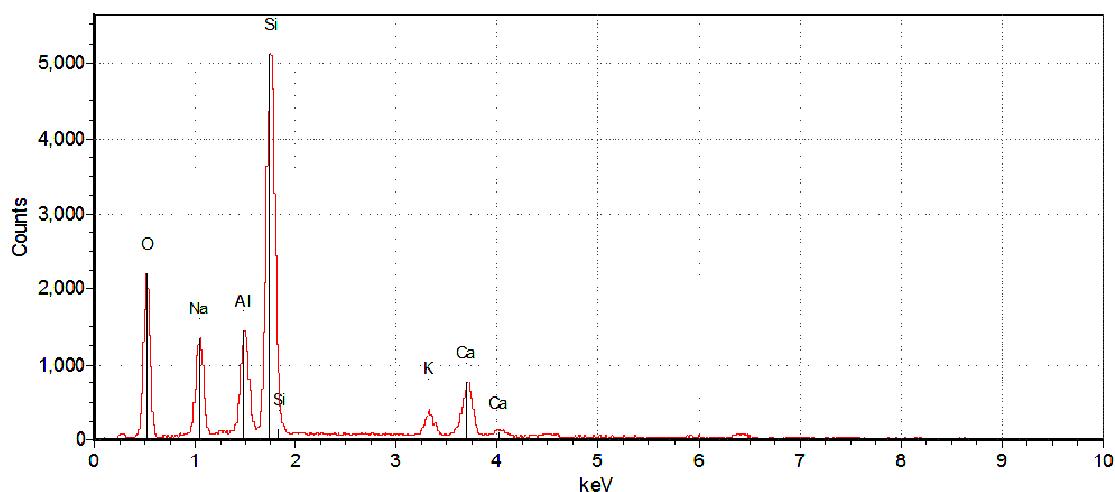
Na obrázku č. 53 je vyfocen povrch zkoumaného exempláře po vytažení z fyziologického roztoku se 100 násobným zvětšením.



Obr. č. 53 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	25.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	19.0 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	123.83 s

Tab. č. 30 – Parametry měření

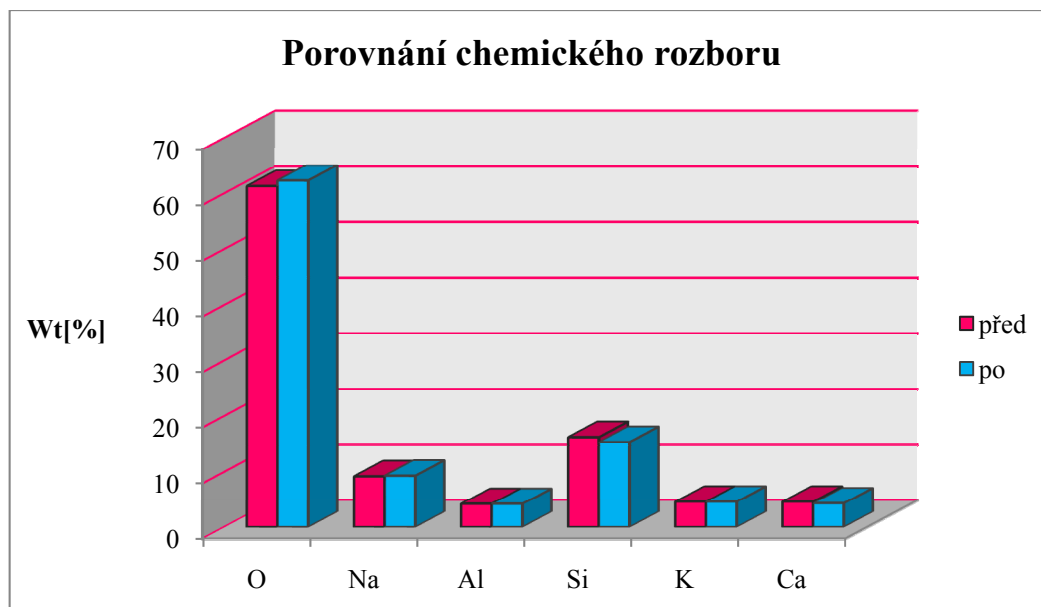


Obr. č. 54 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 53)

Obrázek č. 54 graficky znázorňuje chemickou analýzu povrchu. Souhrnný chemický rozbor zkoumaného vzorku je zapsán v tabulce č. 31.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	62.3
Na	9.3
Al	4.2
Si	15.3
K	4.6
Ca	4.3

Tab. č. 31 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti



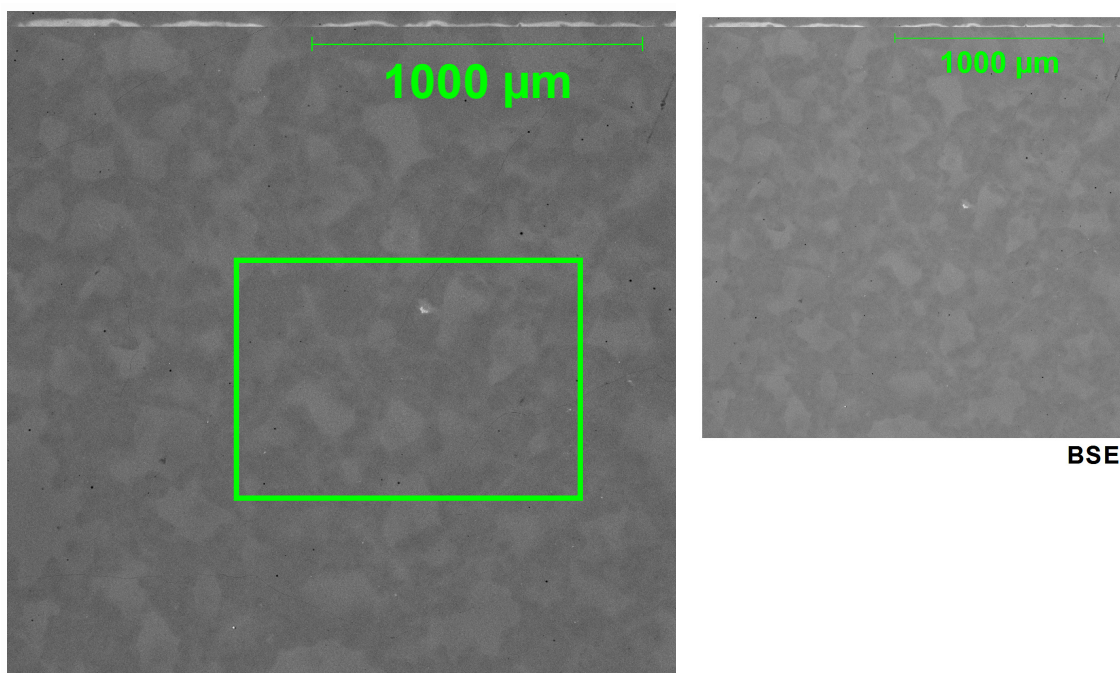
Graf č. 9 – Grafické zhodnocení rozdílů chemické analýzy, základní smalt + kaolín T3 na vzorku
Ti

Na grafu č. 9 jsou viditelné rozdíly chemického složení vzorku, před aplikací do fyziologického roztoku a po jeho vytažení. Ve váhovém množství má největší zastoupení kyslík a křemík. Dále se zde vyskytuje hliník, draslík, vápník a sodík. Rozdíly jednotlivých prvků jsou minimální.

10.6.4. Mikroskopická analýza - Základní smalt + kaolín T3 na vzorku Ti6Al4V

Měření vzorku před ponorem do fyziologického roztoku

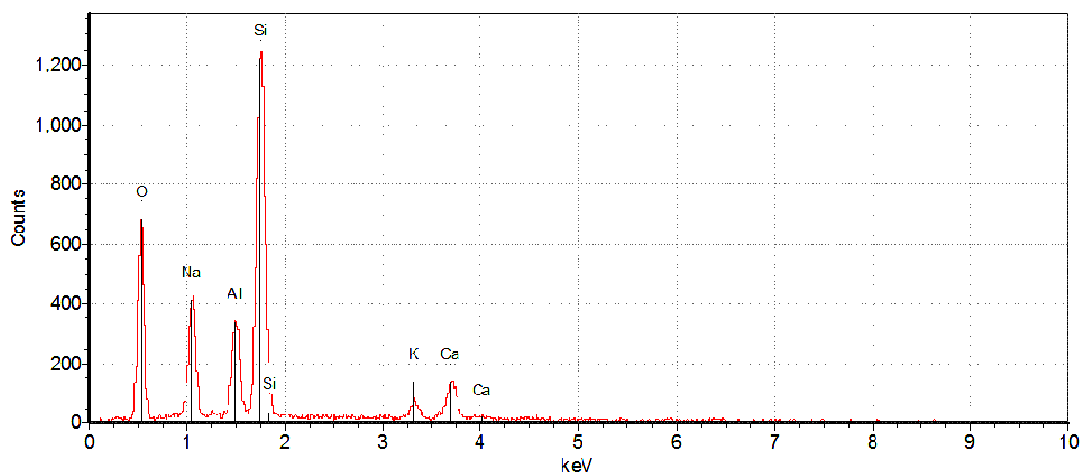
Na obrázku č. 55 je zobrazen detail povrchu se 100 násobným zvětšením. Je zde předvedena plocha, na které byla vykonána chemická analýza zkoumaného povrchu.



Obr. č. 55 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	19.2 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	49.37 s

Tab. č. 32 – Parametry měření



Obr. č. 56 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 55)

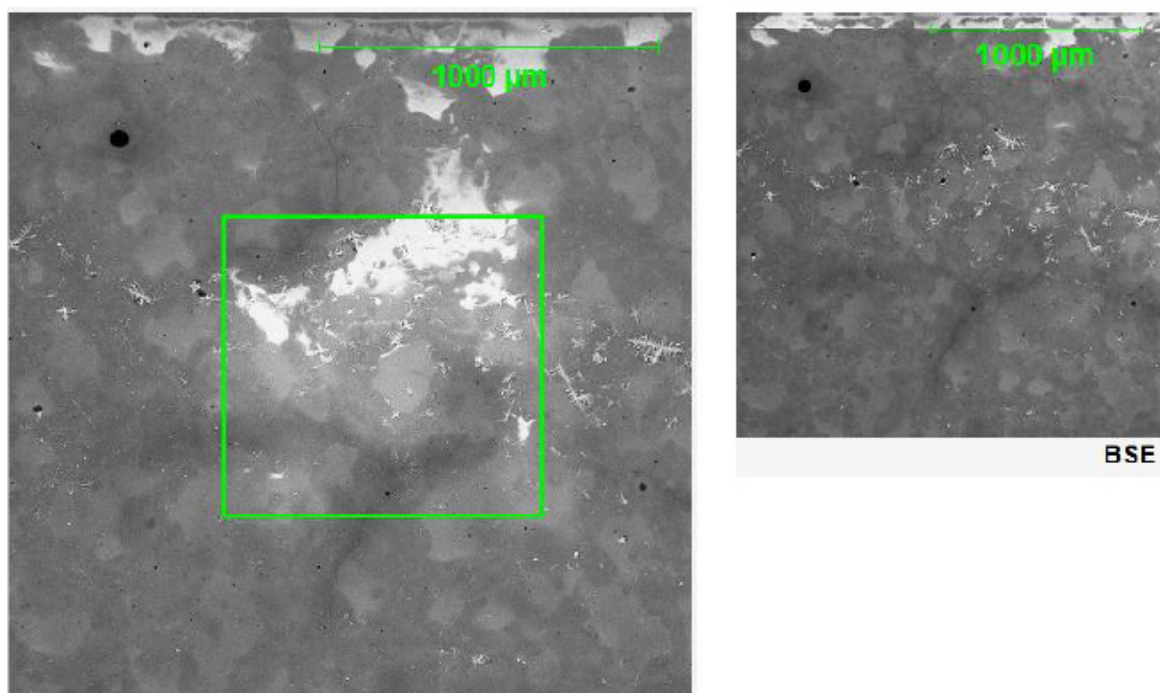
Z obrázku č. 56 a tabulky č. 33 lze stanovit chemické složení v určeném místě, které je znázorněno na obrázku č. 55.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	68.5
Na	9.6
Mg	0.1
Al	3.5
Si	12.4
P	0.3
K	4.7
Ca	4.4

Tab. č. 33 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti6Al4V

Měření vzorku po vytažení z fyziologického roztoku po 10 dnech expozice

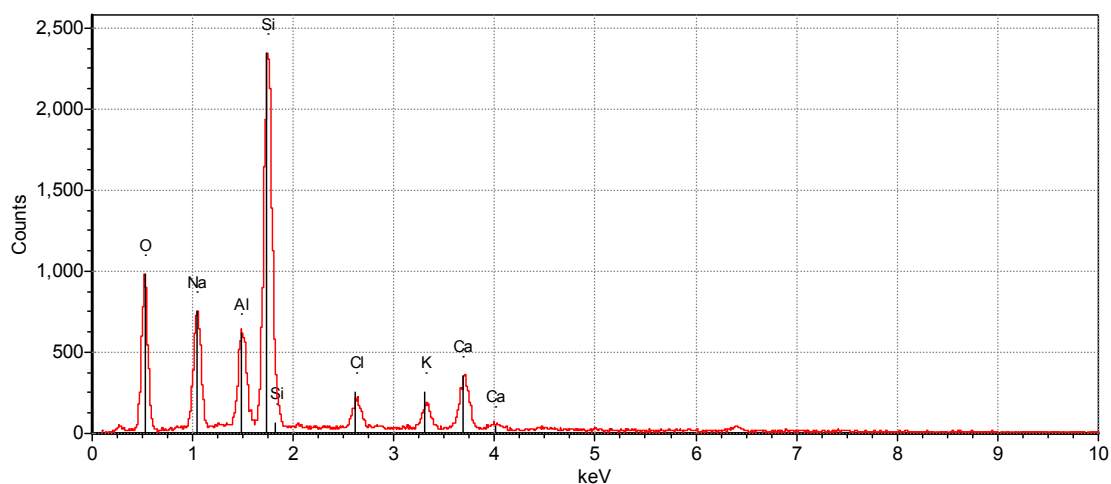
Obrázek č. 57 předkládá povrch zkoumaného vzorku po vytažení z fyziologického roztoku se 100 násobným zvětšením. Parametry měření jsou uvedeny v tabulce č. 34



Obr. č. 57 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	25.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	19.2 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	58.49 s

Tab. č. 34 – Parametry měření

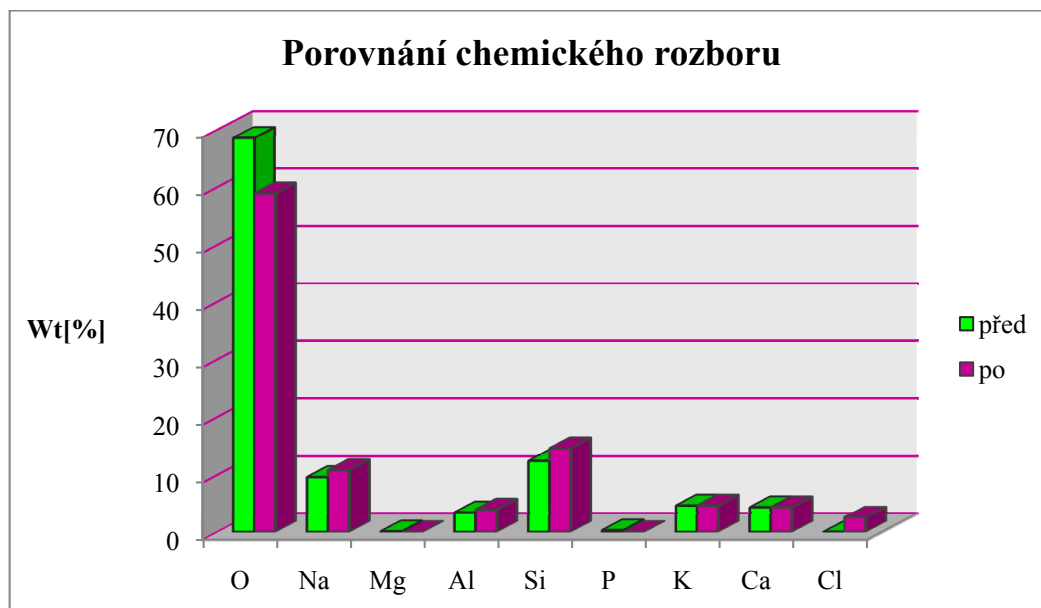


Obr. č. 58 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 57)

Výsledky chemické analýzy dané oblasti jsou znázorněny na obr. č. 58. Chemický rozbor povrchu je uveden v tabulce č. 35.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	58.9
Na	10.8
Al	4.0
Si	14.6
Cl	2.6
K	4.7
Ca	4.4

Tab. č. 35 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti6Al4V



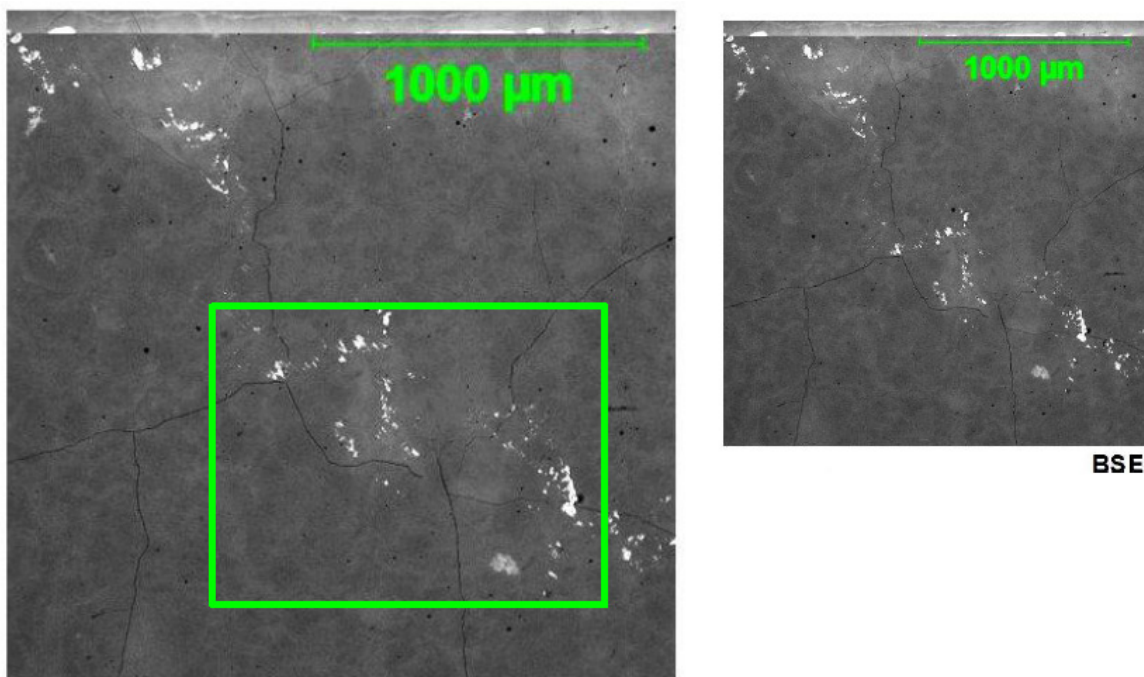
Graf č. 10 – Grafické zhodnocení rozdílů chemické analýzy, základní smalt + kaolin T3 na vzorku *Ti6Al4V*

Na grafu č. 10 jsou patrné rozdíly chemického složení vzorku. Po vytažení z fyziologického roztoku se zvýšily hodnoty sodíku, křemíku, hliníku a chloridu, zatímco draslík a vápník zůstaly stejné.

10.6.5. Mikroskopická analýza - Základní smalt + jemný jíl MiC na vzorku Ti

Měření vzorku před ponorem do fyziologického roztoku

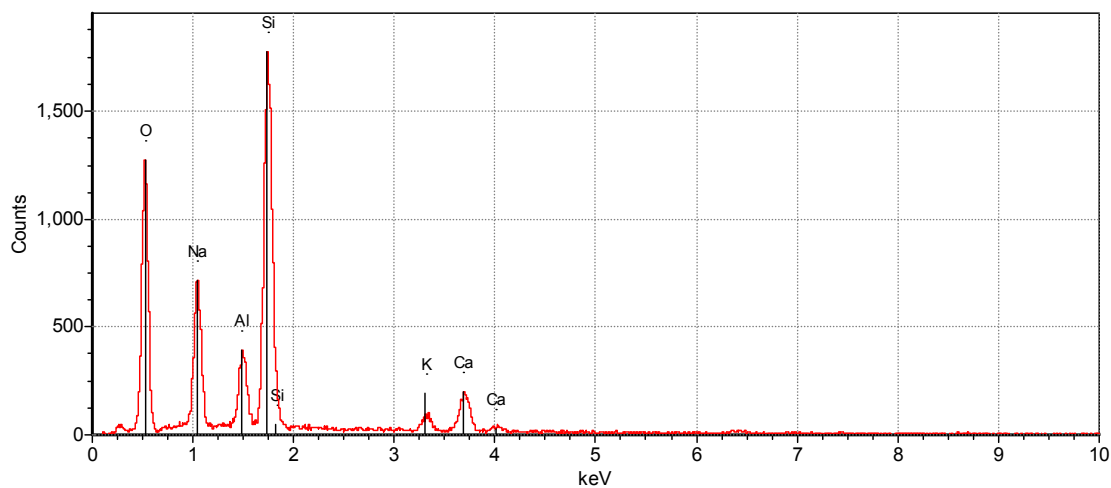
Obrázek č. 59 zaznamenává povrch vzorku základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti. Také znázorňuje oblast, na které se určuje chemická analýza povrchu. Povrch je přiblížen 100 násobně.



Obr. č. 59 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	18.2 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	79.76 s

Tab. č. 36 – Parametry měření



Obr. č. 60 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 59)

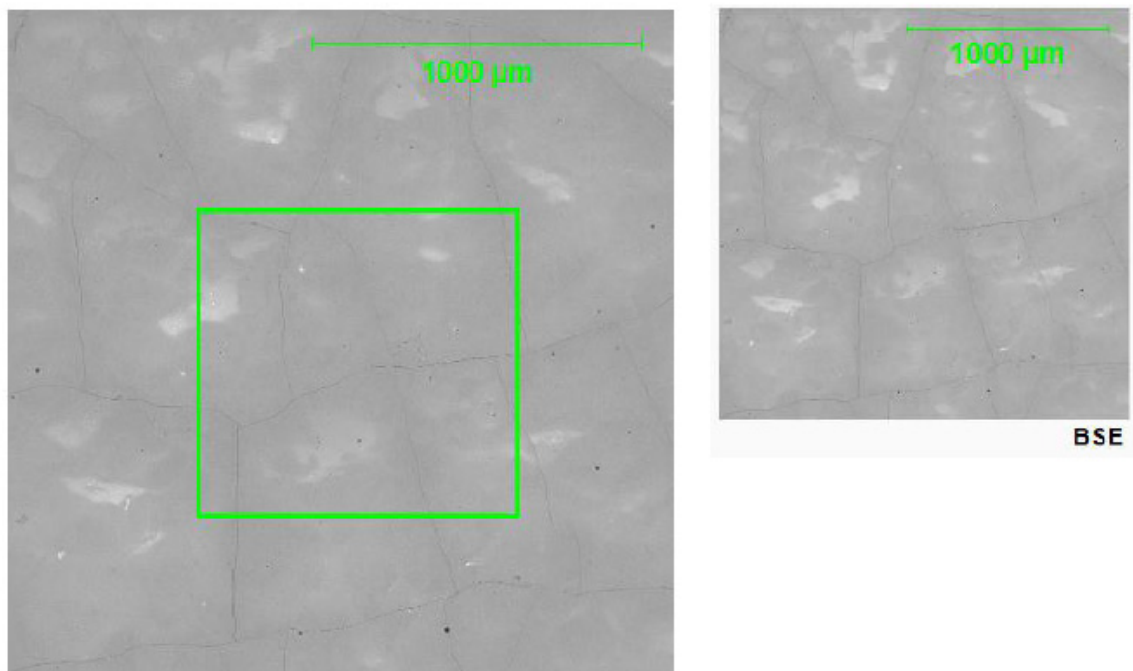
Obrázek č. 60 graficky popisuje chemickou analýzu povrchu. Chemický rozbor vzorku je zapsán v tabulce č. 37.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	73.2
Na	9.7
Al	2.2
Si	10.3
P	0.2
Cl	0.1
K	2.0
Ca	2.1
Ti	0.2

Tab. č. 37 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti

Měření vzorku po vytažení z fyziologického roztoku po 10 dnech expozice

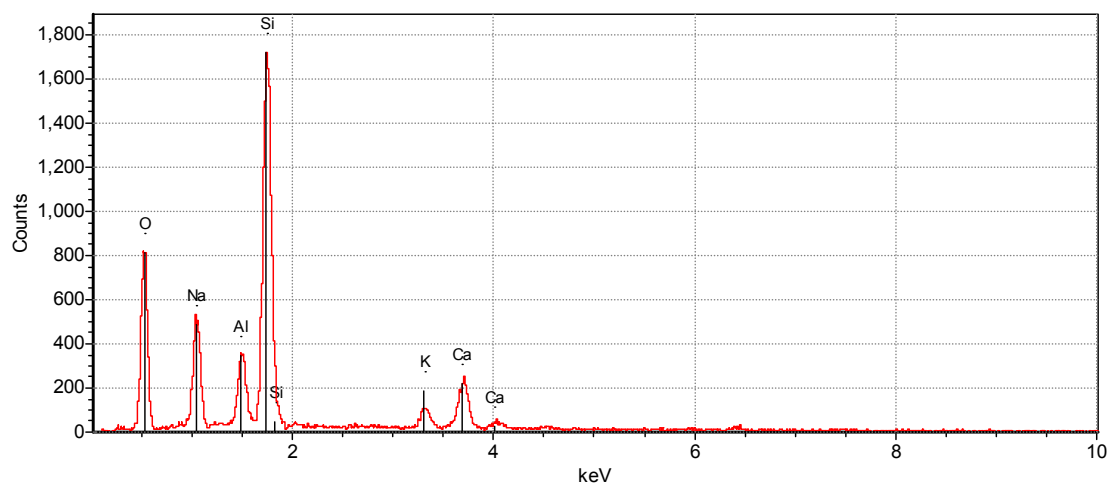
Na obrázku č. 61 je přiblížen povrch zkoumaného exempláře po vytažení z fyziologického roztoku 100 násobně.



Obr. č. 61 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	19.2 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	63.15 s

Tab. č. 38 – Parametry měření

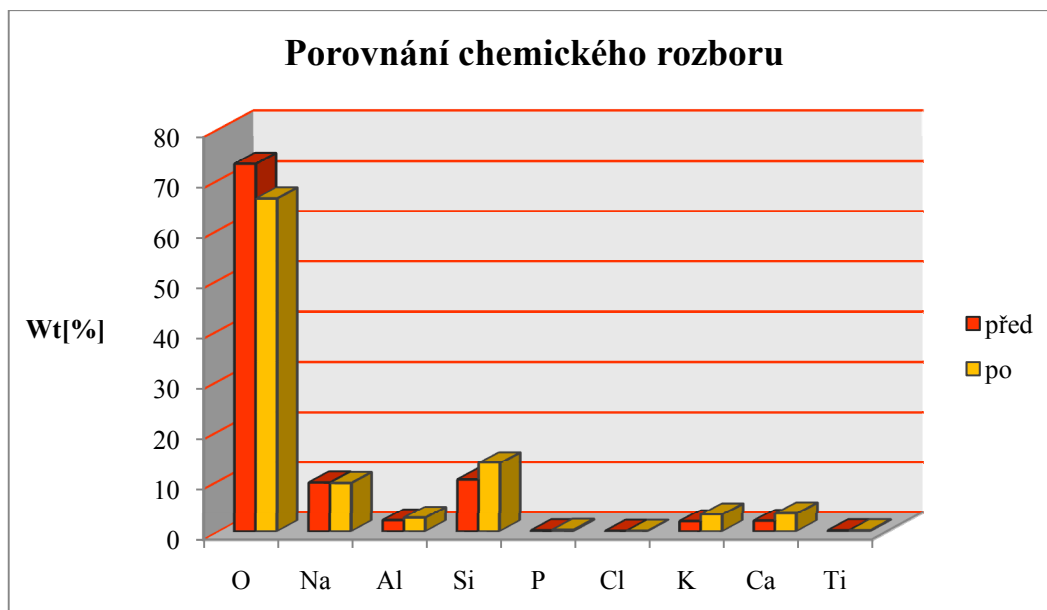


Obr. č. 62 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 61)

Výsledky chemické analýzy dané oblasti jsou graficky zobrazeny na obr. č. 62. Přesnější popis chemického rozboru je představen v tabulce č. 39.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	66.4
Na	9.6
Al	2.7
Si	13.7
P	0.3
Cl	0.1
K	3.4
Ca	3.6
Ti	0.2

Tab. č. 39 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti



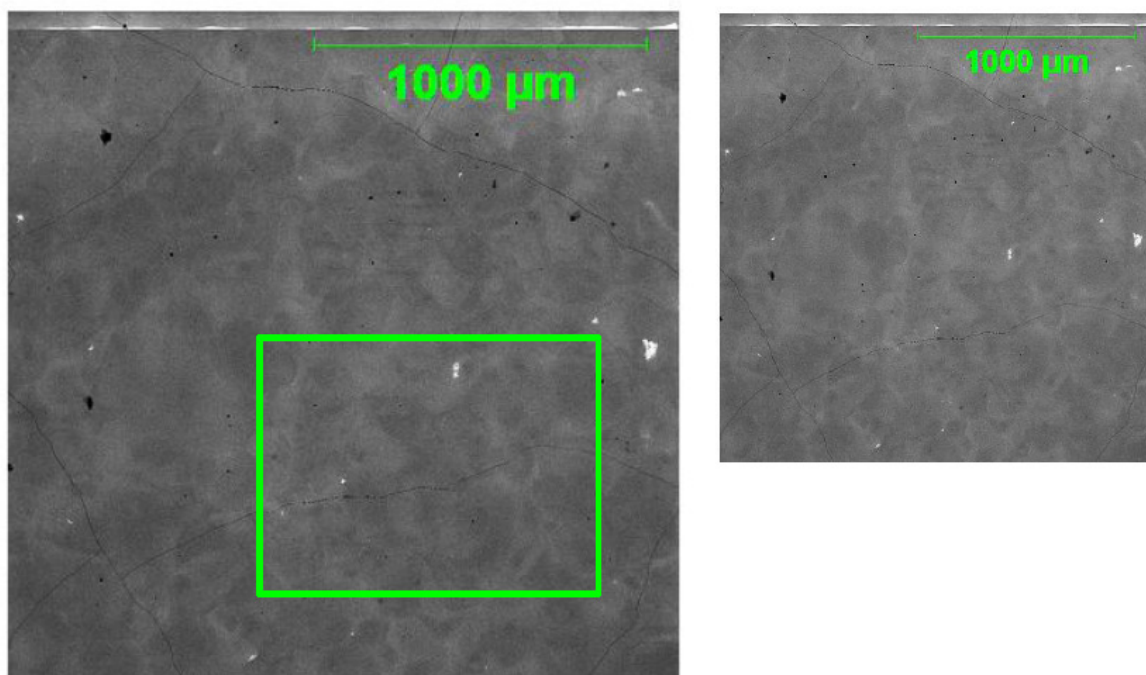
Graf č. 11 – Grafické zhodnocení rozdílů chemické analýzy, základní smalt + jemný jíl MiC na vzorku Ti

Graf č. 11 nám zobrazuje odchylky chemického složení vzorku, před aplikací do fyziologického roztoku a po jeho vytažení. Po deseti dnech expozice je patrné, že se zvýšily hodnoty křemíku, draslíku, vápníku. Oproti tomu výrazně poklesl kyslík.

10.6.6. Mikroskopická analýza - Základní smalt + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V

Měření vzorku před ponorem do fyziologického roztoku

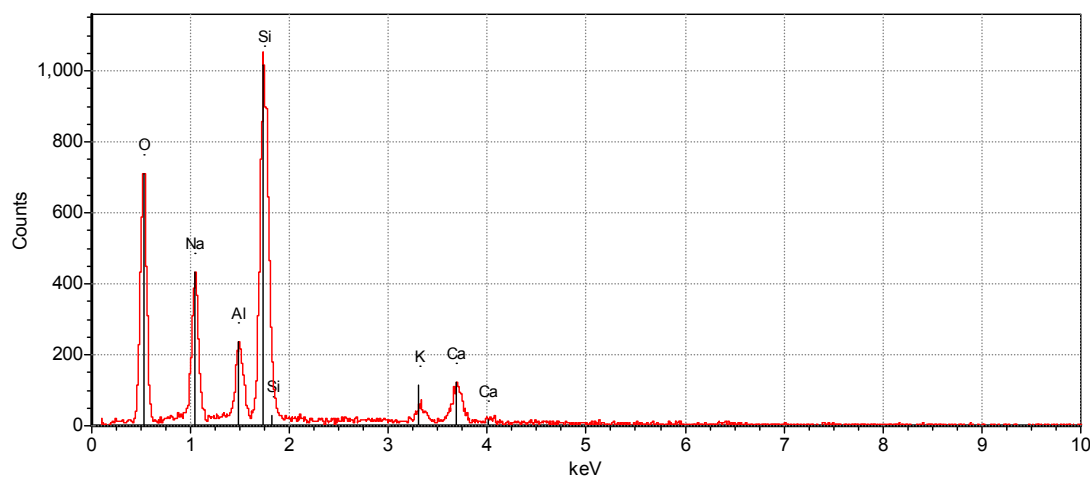
Povrch zkoumaného vzorku před ponorem do roztoku je zachycen na obrázku č. 63 se 100 násobným zvětšením. Parametry měření jsou uvedeny v tabulce č. 28.



Obr. č. 63 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	19.1 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	46.28 s

Tab. č. 40 – Parametry měření



Obr. č. 64 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 63)

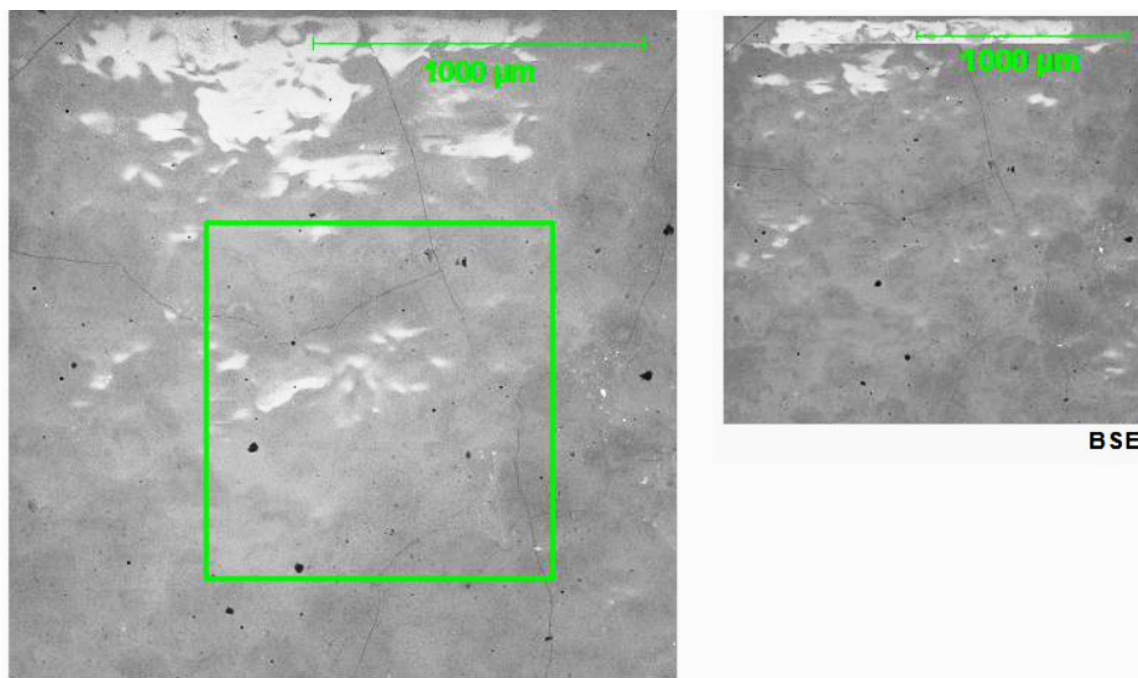
Výsledky chemické analýzy stanovené oblasti jsou ilustrovány na obr. č. 64. Chemický rozbor povrchu na vzorku Ti6Al4V před ponorem do fyziologického roztoku je uveden v tabulce č. 41.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	73.3
Na	9.8
Al	2.3
Si	10.2
P	0.1
K	2.2
Ca	2.2

Tab. č. 41 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V

Měření vzorku po vytažení z fyziologického roztoku po 10 dnech expozice

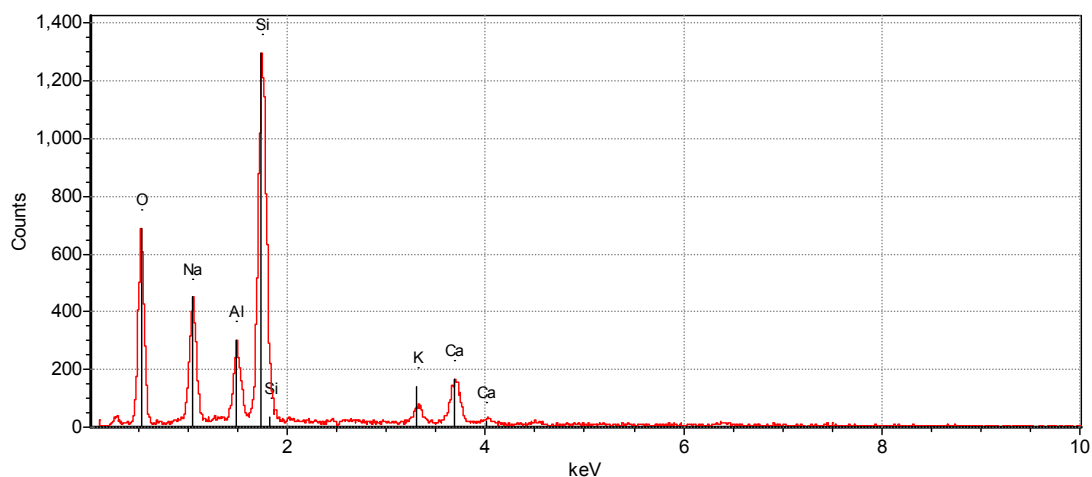
Na obrázku č. 65 je vyfocen povrch exempláře po vytažení z fyziologického roztoku se 100 násobným zvětšením.



Obr. č. 65 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 100x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	19.2 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	56.66 s

Tab. č. 42 – Parametry měření

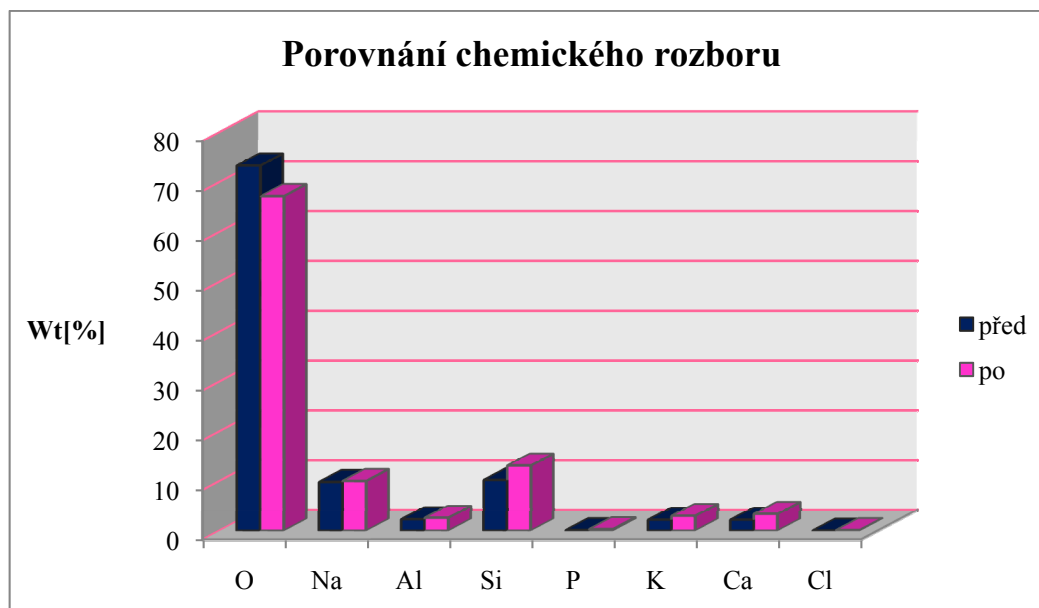


Obr. č. 66 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 65)

Obrázek č. 66 graficky vykresluje chemickou analýzu povrchu po vytažení z fyziologického roztoku. Přehledný chemický rozbor vzorku je zaznamenán v tabulce č. 43.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
O	67.2
Na	10.0
Al	2.6
Si	13.1
P	0.3
Cl	0.1
K	3.0
Ca	3.4

Tab. č. 43 – Chemická analýza povrchu základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V



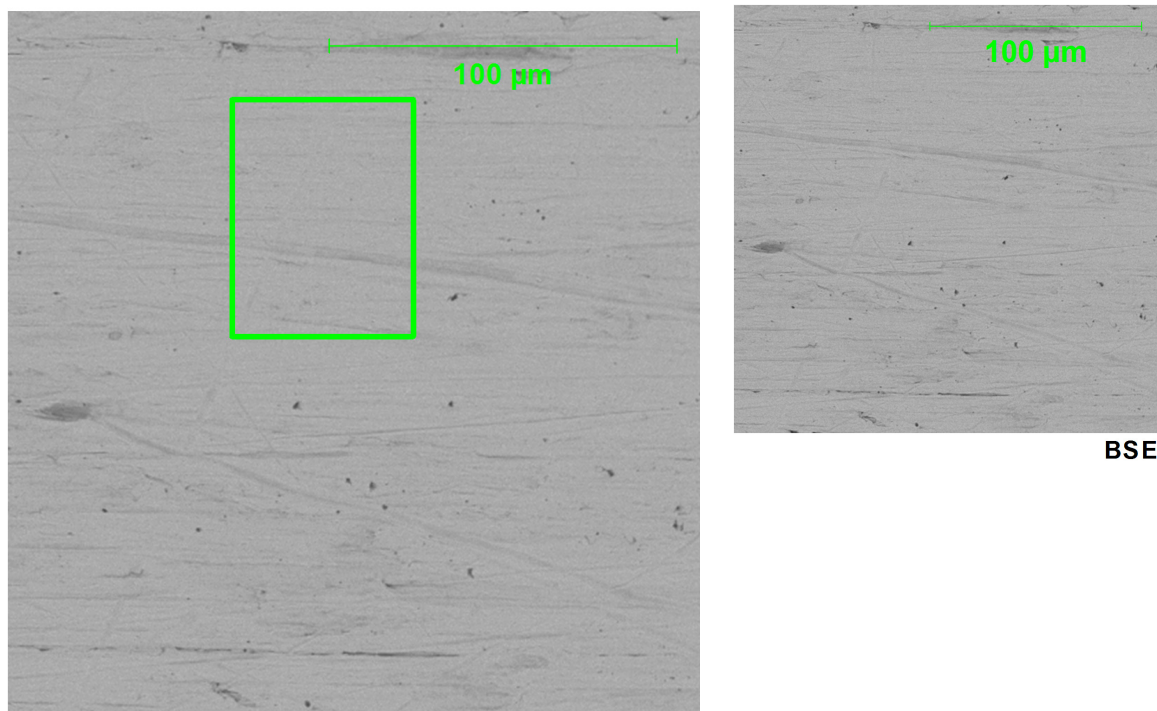
Graf č. 12 – Grafické zhodnocení rozdílů chemické analýzy, základní smalt + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V

Graf č. 12 zobrazuje odlišnosti chemického složení vzorku, před aplikací do fyziologického roztoku a po jeho vytažení. Nejmocnější zastoupení má znova kyslík a dále sodík, křemík, hliník. Změna nastala také u vápníku a draslíku. Z grafického zhodnocení je patrné, že nám biologické prostředí ovlivnilo chemickou analýzu daného povrchu.

10.6.7. Mikroskopická analýza - Nerezový plech

Měření vzorku před ponorem do fyziologického roztoku

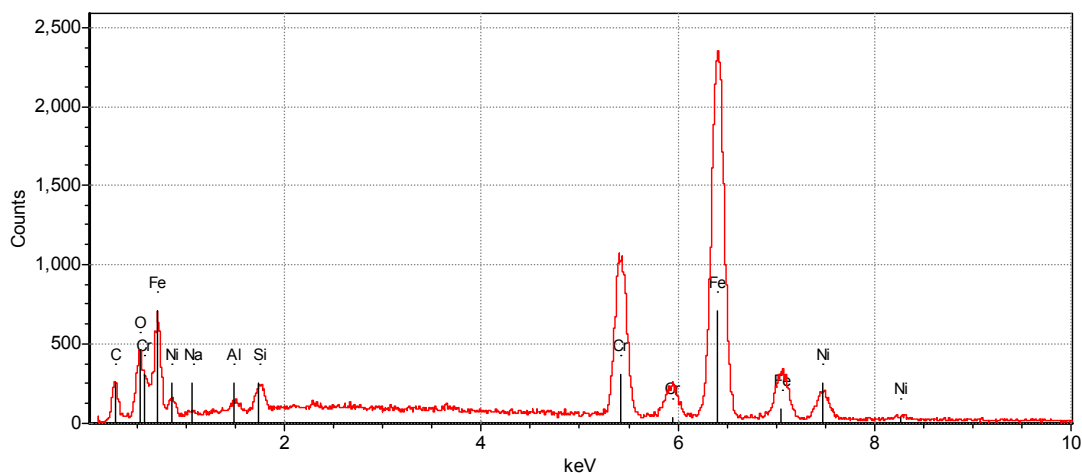
Na obrázku č. 67 je zaznamenán detail povrchu se 1000 násobným zvětšením. Je zde ukázána plocha, na které byla provedena chemická analýza zkoumaného povrchu.



Obr. č. 67 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 1000x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	21.7 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	77.04 s

Tab. č. 44 – Parametry měření



Obr. č. 68 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 67)

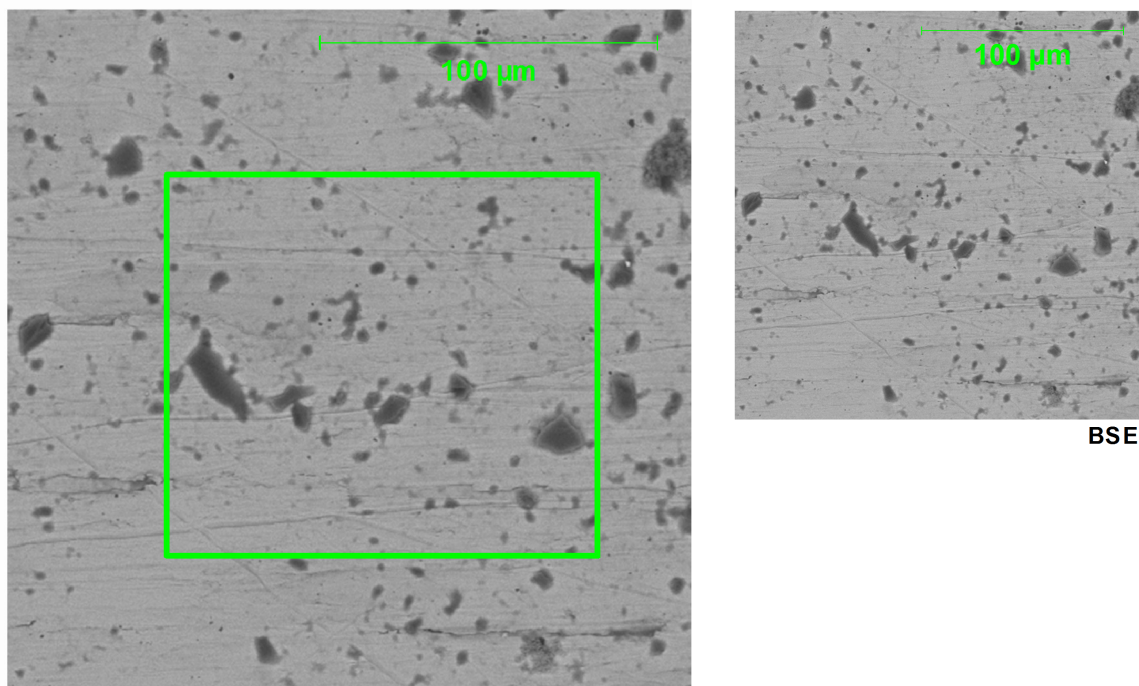
Obrázek č. 68 graficky vykresluje chemickou analýzu povrchu po vytažení z fyziologického roztoku. Přesnější chemický rozbor je popsán v tabulce č. 45.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
C	5.9
Si	0.3
Cr	20.7
Fe	64.6
Ni	8.4
O	2.8

Tab. č. 45 – Chemická analýza povrchu nerezového plechu

Měření vzorku po vytažení z fyziologického roztoku po 10 dnech expozice

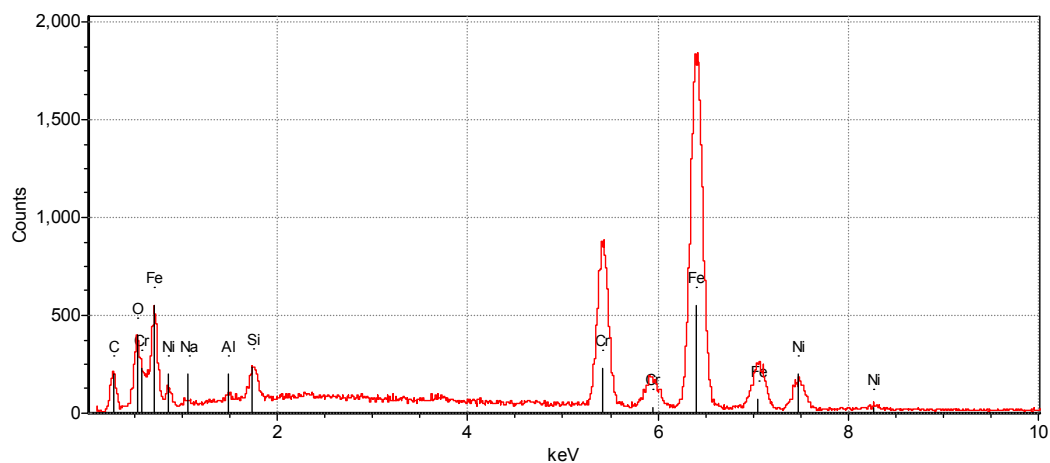
Obrázek č. 69 znázorňuje povrch vzorku po vytažení z fyziologického roztoku se 1000 násobným zvětšením. Parametry měření jsou uvedeny v tabulce č. 34



Obr. č. 69 – Detail vzorku a fotografie místa chemického rozboru, zvětšeno 1000x

Parametry měření	
Accelerating voltage (urychlující napětí)	20.0 kV
Working distance (pracovní vzdálenost)	21.8 mm
Spot size (velikost značení)	25 %
Live time (doba měření)	89.01 s

Tab. č. 46 – Parametry měření

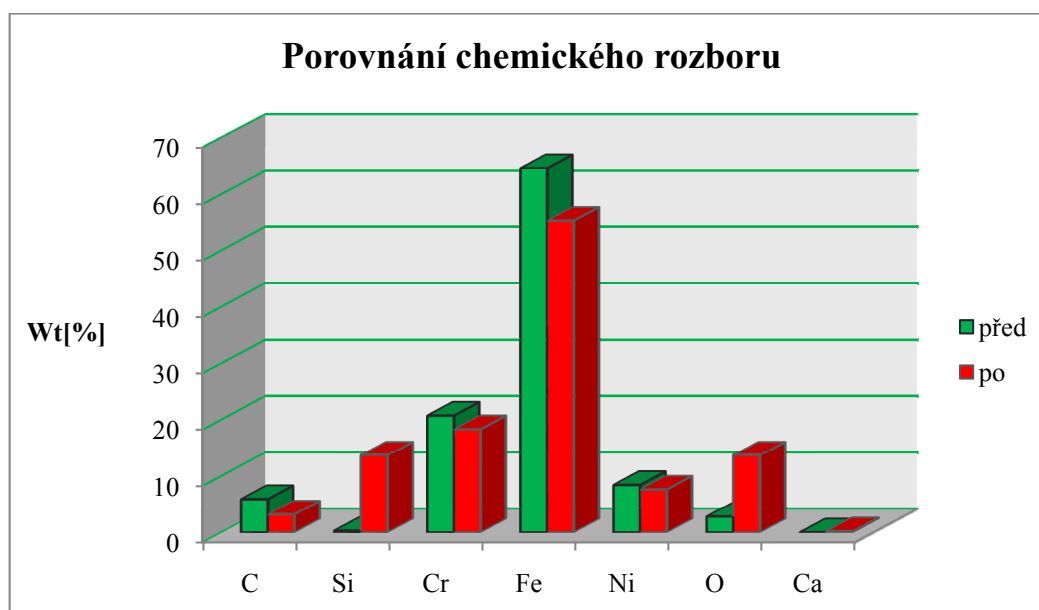


Obr. č. 70 – Chemická analýza povrchu (viz Obr. č. 69)

Výsledky chemické analýzy dané oblasti na nerezovém vzorku jsou znázorněny na obr. č. 70. Chemický rozbor povrchu je uveden v tabulce č. 47.

Chemický rozbor povrchu	
Prvek	Wt [%] (váhové množství)
C	3.2
Si	13.7
Cr	18.3
Fe	55.3
Ni	7.6
O	13.7
Ca	0.2

Tab. č. 47 – Chemická analýza povrchu nerezového plechu



Graf č. 13 – Grafické zhodnocení rozdílů chemické analýzy nerezového plechu

Na grafu č. 13 jsou znázorněny různosti chemického složení vzorku, před aplikací do fyziologického roztoku a po jeho vytažení. Na grafickém znázornění je patrný vyšší obsah železa, chromu, niklu. Výrazně se zvýšila hodnota křemíku a kyslíku, zatímco uhlík nám klesl.

11. Závěr

Bakalářská práce se zabývá studiem sklokeramických povlaků v kontaktu s biologickým prostředím a jeho vlivem na vlastnosti smaltů. Biologickým prostředím byl zvolen fyziologický roztok o koncentraci 9 g soli/1 l vody. Expozice vzorků probíhala po dobu 10 dnů při pokojové teplotě 19 – 22 °C v uzavřených skleněných nádobkách.

Jako podkladové materiály byly použity vzorky z titanu Ti, na kterých byla provedena povrchová úprava kartáčování a broušení a vzorky ze slitiny titanu Ti6Al4V vytvořené bez povrchových úprav. Do biologického prostředí byl aplikován také nerezový plech o velikosti 50x50mm, na kterém nebyla provedena technologická operace smaltování. Povrch vzorků byl odmaštěn v lázni Simple Greenu a vody.

Při tvorbě smaltů byly použity smaltéřské břčky, které se lišily přidanými druhy jemně mletého jílu a různými druhy mletých kaolínů. První smaltové povlaky byly tvořeny ze základního smaltu s 3% jemným jilem Fero. Druhé složení je základní smalt s kaolínem T4 6%, třetí obsahuje základní smalt s kaolínem T3 6% a poslední byl sestaven ze základního smaltu s jemným jilem MiC 3%. Vypalovací teplota vzorků byla 850 °C a vypalovací čas byl 8 minut s výjimkou smaltů obsahující kaolíny, zde byla vypalovací doba 12 minut. Pomocí provedených zkoušek a vyhodnocení experimentálních prací je zřejmé, že biologické prostředí má vliv na použité sklokeramické povlaky.

Na základních i posmaltovaných vzorcích před aplikací do fyziologického roztoku, ale také po jejich vytažení, byly naměřeny hodnoty drsnosti. Při vyhodnocování bylo zjištěno, že expozice smaltů v biologickém prostředí ovlivňuje drsnost jednotlivých povlaků. Dále bylo provedeno měření granulometrie použitých jílu a kaolínu v laboratoři sypkých hmot na katedře 342. Měření se konalo na laserovém analyzátoru Mastersizer 2000.

V další fázi se zkoumal povrch vzorků před aplikací a po vytažení z fyziologického roztoku. Fotodokumentace povrchů byla provedena na řádkovacím elektronovém mikroskopu a snímky byly pořízeny na přístroji ASPEX PSEM eXplorer v laboratoři CPIT (centrum pokročilých inovačních technologií) VŠB-TU Ostrava. Pro přehlednost byly sestaveny grafy porovnávající chemický rozbor vzorků. Jsou na nich patrné změny chemického složení po 10 dnech expozice v biologickém prostředí.

Experimentální zkoušky prokázaly, že biologické prostředí ovlivňuje vlastnosti a chování sklokeramických povlaků. Sklokeramické povlaky vytvářejí na povrchu sloučeniny, které nám reagují s biologickým prostředím.



12. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*, VŠB-TU Ostrava, 2000, 156 s, ISBN 80-7078-953-0.
- [2] BOUŠE, V. a kol.: *Smalty a jejich použití v protikorozi ochraně*, SNTL, Praha, 1986, 216 s.
- [3] PODJUKLOVÁ, J. a kol.: *Nové obzory v poznání vlastností sklokeramických smaltových povlaků*, VŠB-TU Ostrava, 2010, 135 s, ISBN 978–80–248–2339-3.
- [4] *Wikipedie* [online]. 2010 [cit. 2011-05-14]. Smalty. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Smalt>>.
- [5] STRNAD, Z.; URBAN, Z. *Bioaktivní sklokeramika nahrazující kost. Neživé náhrady srůstající s živou tkání* [online]. 2000, 79, [cit. 2010-03-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.vesmir.cz/clanek/bioaktivni-sklokeramika-nahrazujicikost>>.
- [6] TICHÁ, Š.: *Strojírenská metrologie : část 1*. VŠB - TU Ostrava: [s.n.], 2008. 112 s, ISBN 978-80-248-0671-6.
- [7] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS)*. [s.l.]: [s.n.], 1998. 22 s.
- [8] *Comfortdent* [online]. 2008 [cit. 2010-12-07]. Implantáty - plnohodnotná náhrada chybějících zubů. Dostupné z WWW: <<http://www.comfortdent.eu/implantaty/>>.
- [9] *Wikipedie* [online]. 2011-04-22 [cit. 2011-05-14]. Zubní implantát. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zubn%C3%AD_implant%C3%A1t#cite_note-6>.
- [10] *Lasak.cz* [online]. 2005 [cit. 2011-01-07]. Bio povrch. Dostupné z WWW: <<http://www.lasak.cz/?t=impladent-sti-bio>>.
- [11] *Mqs.co* [online]. 2011 [cit. 2011-02-11]. SURFTEST 301. Dostupné z WWW: <http://mqs.co.uk/Products/Surface_Finish_and_Contour_and_Roundness_Measurement/>.
- [12] *Jps.cz* [online]. 2011-05-14 [cit. 2011-05-14]. Dentální výrobky - vlastnosti systému. Dostupné z WWW: <http://www.jps.cz/AstraTech_vlastnosti_systemu>.



- [13] *Paru.cas.cz* [online]. 2001 [cit. 2011-01-1]. Elektronová mikroskopie pro biology. Dostupné z WWW: <<http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/7.0.html>>.
- [14] *Ight.com.pl* [online]. 2011-05-20 [cit. 2011-05-20]. ASPEX PSEM eXplorer. Dostupné z WWW: <<http://www.ight.com.pl/?page=oferta&id=10>>.



13. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A

Vyhodnocení měření drsností základních materiálů

- **Tab. č. 1** – Parametry pátého měření na nerezovém plechu
- **Tab. č. 2** – Parametry pátého měření na vzorku Ti
- **Tab. č. 3** – Parametry desátého měření na vzorku Ti
- **Tab. č. 4** – Parametry pátého měření na vzorku Ti6Al4V
- **Tab. č. 5** – Parametry desátého měření na vzorku Ti6Al4V

Vyhodnocení měření drsností vypálených vrstev smaltů

- **Tab. č. 6** – Parametry druhého měření základního smaltu (jemný jíł Fero 3%) na vzorku Ti6Al4V
- **Tab. č. 7** – Parametry druhého měření základního smaltu + kaolín T4 6% na vzorku Ti
- **Tab. č. 8** – Parametry druhého měření základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti
- **Tab. č. 9** – Parametry čtvrtého měření základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti6Al4V
- **Tab. č. 10** – Parametry prvního měření základní smalt + jemný jíł MiC 3% na vzorku Ti
- **Tab. č. 11** – Parametry devátého měření základ jemný jíł MiC 3% na vzorku Ti6Al4V

Vyhodnocení měření drsností po vytažení z fyziologického roztoku

- **Tab. č. 12** – Parametry desátého měření základního smaltu (jemný jíł Fero 3%) na vzorku Ti6Al4V
- **Tab. č. 13** – Parametry devátého měření základního smaltu + kaolín T4 6% na vzorku Ti
- **Tab. č. 14** – Parametry čtvrtého měření základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti
- **Tab. č. 15** – Parametry pátého měření základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti6Al4V
- **Tab. č. 16** – Parametry šestého měření základní smalt + jemný jíł MiC 3% na vzorku Ti
- **Tab. č. 17** – Parametry osmého měření základní smalt + jemný jíł MiC 3% na vzorku Ti6Al4V



Příloha B

- **Obr. č. 1** – Velikostní parametry analýzy pro kaolín T3
- **Obr. č. 2** – Velikostní parametry analýzy pro kaolín T4
- **Obr. č. 3** – Velikostní parametry analýzy pro jíl jemný Ferro
- **Obr. č. 4** – Velikostní parametry analýzy pro jíl jemný MiC
- **Obr. č. 5** – Použité druhy sklovitých povlaků
- **Obr. č. 6** – Souhrn výsledku měření granulometrie

Příloha C

Před ponorem do fyziologického roztoku

- **Obr. č. 1** – Detail základního smaltu + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V zvětšeno 100x
- **Obr. č. 2** – Detail základního smaltu + kaolín T4 na vzorku Ti zvětšeno 100x
- **Obr. č. 3** – Detail základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti zvětšeno 100x
- **Obr. č. 4** – Detail základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti6Al4V zvětšeno 100x
- **Obr. č. 5** – Detail základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti zvětšeno 100x
- **Obr. č. 6** – Detail základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V zvětšeno 100x

Po vytažení z fyziologického roztoku

- **Obr. č. 7** – Detail základního smaltu + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V zvětšeno 100x
- **Obr. č. 8** – Detail základního smaltu + kaolín T4 na vzorku Ti zvětšeno 100x
- **Obr. č. 9** – Detail základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti zvětšeno 100x
- **Obr. č. 10** – Detail základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti6Al4V zvětšeno 100x
- **Obr. č. 11** – Detail základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti zvětšeno 100x
- **Obr. č. 12** – Detail základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V zvětšeno 100x

**14. Příloha A****Vyhodnocení měření drsností základních materiálu**

V tabulkách jsou zapsány údaje měření, hodnoty délky měřeného profilu (N), filtr profilu (λ_c), struktura povrchu typu R a výškové parametry drsnosti.

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	0,97 μm
Ra	0,43 μm	Rv	2,03 μm
Rz	3,00 μm	Rsk	-0,76 μm
Rq	0,53 μm	Rku	3,82 μm

Tab. č. 1 – Parametry pátého měření na nerezovém plechu

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	3 mm
Profile	R	λ_c	2,5 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	10,91 μm
Ra	3,90 μm	Rv	12,02 μm
Rz	22,94 μm	Rsk	0,02 μm
Rq	4,70 μm	Rku	2,45 μm

Tab. č. 2 – Parametry pátého měření na vzorku Ti

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	3 mm
Profile	R	λ_c	2,5 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	11,16 μm
Ra	3,89 μm	Rv	14,74 μm
Rz	25,90 μm	Rsk	-0,25 μm
Rq	5,00 μm	Rku	3,30 μm

Tab. č. 3 – Parametry desátého měření na vzorku Ti



Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	3 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	2,93 μm
Ra	0,88 μm	Rv	3,66 μm
Rz	6,60 μm	Rsk	-0,41 μm
Rq	1,13 μm	Rku	3,52 μm

Tab. č. 4 – Parametry pátého měření na vzorku Ti6Al4V

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	3 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	2,53 μm
Ra	0,97 μm	Rv	4,15 μm
Rz	6,69 μm	Rsk	-0,82 μm
Rq	1,25 μm	Rku	3,84 μm

Tab. č. 5 – Parametry desátého měření na vzorku Ti6Al4V

**Vyhodnocení měření drsností vypálených vrstev smaltů**

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,15 μm
Ra	0,50 μm	Rv	1,30 μm
Rz	2,45 μm	Rsk	-0,18 μm
Rq	0,60 μm	Rku	2,52 μm

Tab. č. 6 – Parametry druhého měření základního smaltu (jemný jíl Fero 3%) na vzorku Ti6Al4V

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,36 μm
Ra	0,47 μm	Rv	1,27 μm
Rz	2,62 μm	Rsk	-0,29 μm
Rq	0,62 μm	Rku	3,31 μm

Tab. č. 7 – Parametry druhého měření základního smaltu + kaolín T4 6% na vzorku Ti

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,49 μm
Ra	0,62 μm	Rv	1,67 μm
Rz	3,16 μm	Rsk	-0,18 μm
Rq	0,75 μm	Rku	2,41 μm

Tab. č. 8 – Parametry druhého měření základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti



Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,56 μm
Ra	0,56 μm	Rv	1,50 μm
Rz	3,06 μm	Rsk	-0,25 μm
Rq	0,70 μm	Rku	2,79 μm

Tab. č. 9 – Parametry čtvrtého měření základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti6Al4V

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,19 μm
Ra	0,45 μm	Rv	1,13 μm
Rz	2,32 μm	Rsk	-0,06 μm
Rq	0,54 μm	Rku	2,63 μm

Tab. č. 10– Parametry prvního měření základní smalt + jemný jíl MiC 3% na vzorku Ti

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,73 μm
Ra	0,64 μm	Rv	1,43 μm
Rz	3,16 μm	Rsk	0,05 μm
Rq	0,80 μm	Rku	2,87 μm

Tab. č. 11 – Parametry devátého měření základ jemný jíl MiC 3% na vzorku Ti6Al4V

**Vyhodnocení měření drsností po vytažení z fyziologického roztoku**

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,94 μm
Ra	0,71 μm	Rv	1,70 μm
Rz	3,64 μm	Rsk	0,14 μm
Rq	0,88 μm	Rku	2,65 μm

Tab. č. 12 – Parametry desátého měření základního smaltu (jemný jíl Fero 3%) na vzorku Ti6Al4V

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	Λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	2,00 μm
Ra	0,69 μm	Rv	1,43 μm
Rz	3,42 μm	Rsk	0,67 μm
Rq	0,84 μm	Rku	2,59 μm

Tab. č. 13 – Parametry devátého měření základního smaltu + kaolín T4 6% na vzorku Ti

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	Λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,35 μm
Ra	0,52 μm	Rv	1,29 μm
Rz	2,64 μm	Rsk	0,12 μm
Rq	0,63 μm	Rku	2,48 μm

Tab. č. 14 – Parametry čtvrtého měření základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti



Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,46 μm
Ra	0,62 μm	Rv	1,59 μm
Rz	3,05 μm	Rsk	-0,16 μm
Rq	0,74 μm	Rku	2,20 μm

Tab. č. 15 – Parametry pátého měření základního smaltu + kaolín T3 6% na vzorku Ti6Al4V

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,10 μm
Ra	0,41 μm	Rv	1,33 μm
Rz	2,43 μm	Rsk	-0,46 μm
Rq	0,54 μm	Rku	3,69 μm

Tab. č. 16 – Parametry šestého měření základní smalt + jemný jíl MiC 3% na vzorku Ti

Wokr name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurtTest SJ-301	Comment	Ver 2.1
Standard	ISO 97	N	5 mm
Profile	R	λ_c	0,8 mm
Range	AUTO	Filter	GAUSS
Styl	us=STAND	Rp	1,33 μm
Ra	0,41 μm	Rv	1,17 μm
Rz	2,50 μm	Rsk	-0,12 μm
Rq	0,53 μm	Rku	3,23 μm

Tab. č. 17 – Parametry osmého měření základní smalt + jemný jíl MiC 3% na vzorku Ti6Al4V

Příloha B

Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	2.20
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	2.37
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	2.63
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	3.08
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	3.76
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	4.63
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	5.63
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	6.64
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	7.54
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	8.20
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	8.53
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	8.46
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	7.96
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	7.09
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	5.93
0.079	0.00	0.832	0.44	8.710	4.64
0.091	0.00	0.955	1.50	10.000	3.31
0.105	0.00	1.096	1.89	11.482	

Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
11.482	2.10	120.226	0.00	1258.925	0.00
13.183	1.13	138.038	0.00	1445.440	0.00
15.136	0.29	158.489	0.00	1659.587	0.00
17.378	0.04	181.970	0.00	1905.461	0.00
19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
104.713	0.00	1096.478	0.00		
120.226	0.00	1258.925	0.00		

Obr. č. 1 – Velikostní parametry analýzy pro kaolín T3

Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	4.64
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	4.65
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	4.66
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	4.90
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	5.45
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	6.22
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	7.05
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	7.77
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	8.19
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	8.19
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	7.71
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	6.80
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	5.57
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	4.21
0.069	0.00	0.724	0.87	7.586	2.88
0.079	0.00	0.832	3.15	8.710	1.75
0.091	0.00	0.955	4.14	10.000	0.87
0.105	0.00	1.096		11.482	

Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
11.482	0.31	120.226	0.00	1258.925	0.00
13.183	0.01	138.038	0.00	1445.440	0.00
15.136	0.00	158.489	0.00	1659.587	0.00
17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
104.713	0.00	1096.478	0.00		
120.226	0.00	1258.925	0.00		

Obr. č. 2 – Velikostní parametry analýzy pro kaolín T4

Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	6.69
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	7.21
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	7.59
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	8.06
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	8.59
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	8.95
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	8.92
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	8.42
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	7.41
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	6.06
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	4.55
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	3.13
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.95
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	1.12
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.59
0.079	0.00	0.832	0.95	8.710	0.30
0.091	0.00	0.955	3.78	10.000	0.14
0.105	0.00	1.096	5.54	11.482	

Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
11.482	0.03	120.226	0.00	1258.925	0.00
13.183	0.00	138.038	0.00	1445.440	0.00
15.136	0.00	158.489	0.00	1659.587	0.00
17.378	0.00	181.970	0.00	1905.461	0.00
19.953	0.00	208.930	0.00	2187.762	0.00
22.909	0.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
26.303	0.00	275.423	0.00	2884.032	0.00
30.200	0.00	316.228	0.00	3311.311	0.00
34.674	0.00	363.078	0.00	3801.894	0.00
39.811	0.00	416.869	0.00	4365.158	0.00
45.709	0.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
104.713	0.00	1096.478	0.00		
120.226	0.00	1258.925	0.00		

Obr. č. 3 – Velikostní parametry analýzy pro jíl jemný Fero

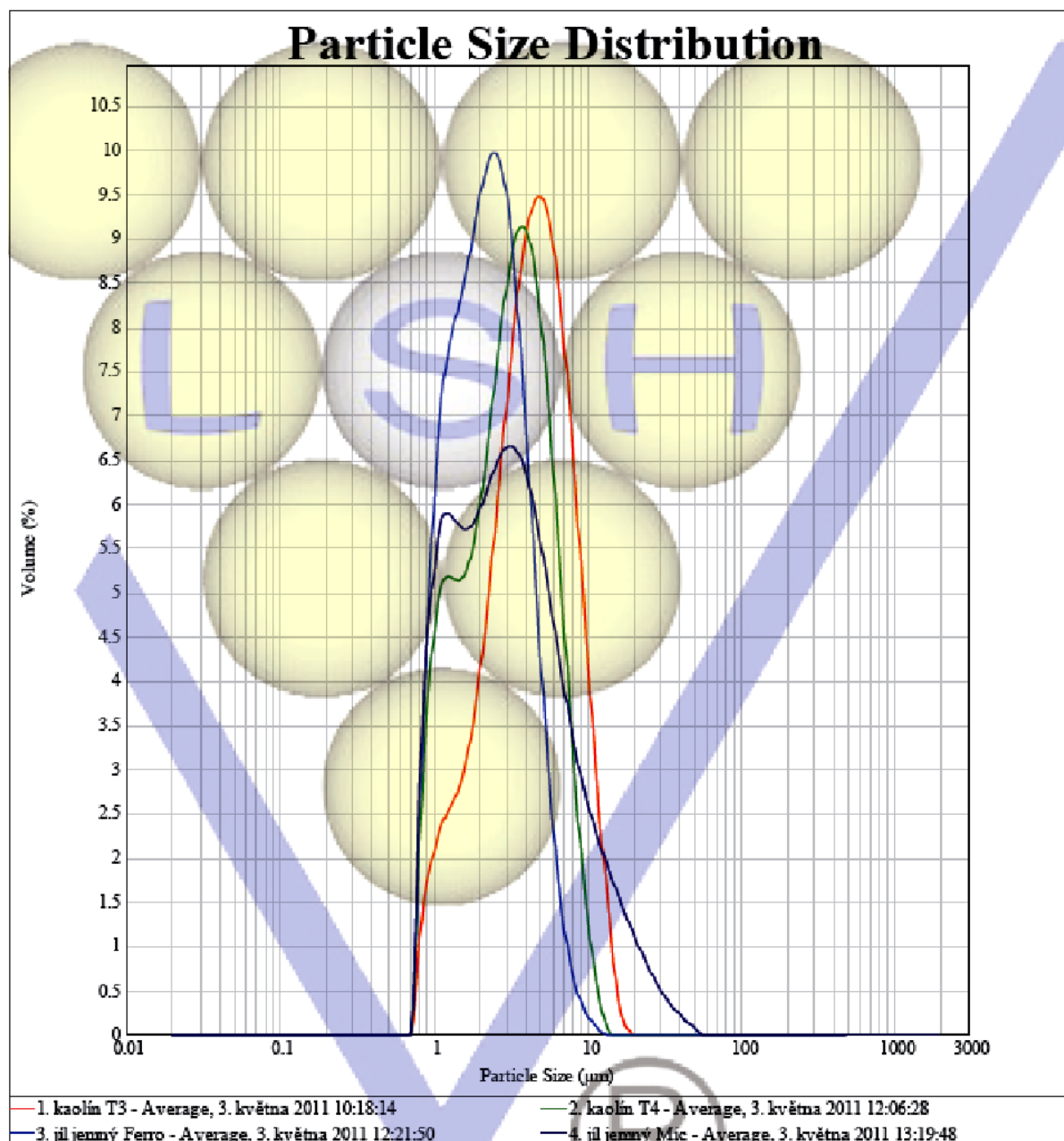
Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	5.30
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	5.27
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	5.16
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	5.19
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	5.38
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	5.65
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	5.88
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	6.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	5.95
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	5.70
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	5.28
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	4.73
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	4.13
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	3.55
0.069	0.00	0.724	1.15	7.586	3.02
0.079	0.00	0.832	3.88	8.710	2.58
0.091	0.00	0.955	4.78	10.000	2.22
0.105	0.00	1.096		11.482	

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
11.482	1.92	120.226	0.00	1258.925	0.00
13.183	1.65	138.038	0.00	1445.440	0.00
15.136	1.40	158.489	0.00	1659.587	0.00
17.378	1.16	181.970	0.00	1905.461	0.00
19.953	0.93	208.930	0.00	2187.762	0.00
22.909	0.72	239.883	0.00	2511.886	0.00
26.303	0.54	275.423	0.00	2884.032	0.00
30.200	0.38	316.228	0.00	3311.311	0.00
34.674	0.26	363.078	0.00	3801.894	0.00
39.811	0.17	416.869	0.00	4365.158	0.00
45.709	0.09	478.630	0.00	5011.872	0.00
52.481	0.00	549.541	0.00	5754.399	0.00
60.256	0.00	630.957	0.00	6606.934	0.00
69.183	0.00	724.436	0.00	7585.776	0.00
79.433	0.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
91.201	0.00	954.993	0.00	10000.000	0.00
104.713	0.00	1096.478	0.00		
120.226	0.00	1258.925	0.00		

Obr. č. 4 – Velikostní parametry analýzy pro jíl jemný MiC



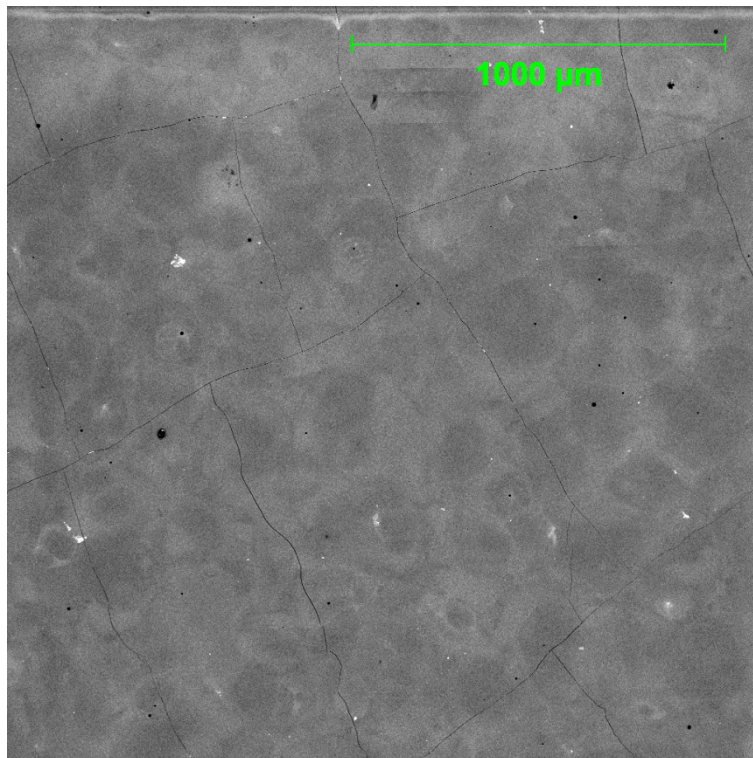
Obr. č. 5 – Použité druhy sklovitých povlaků



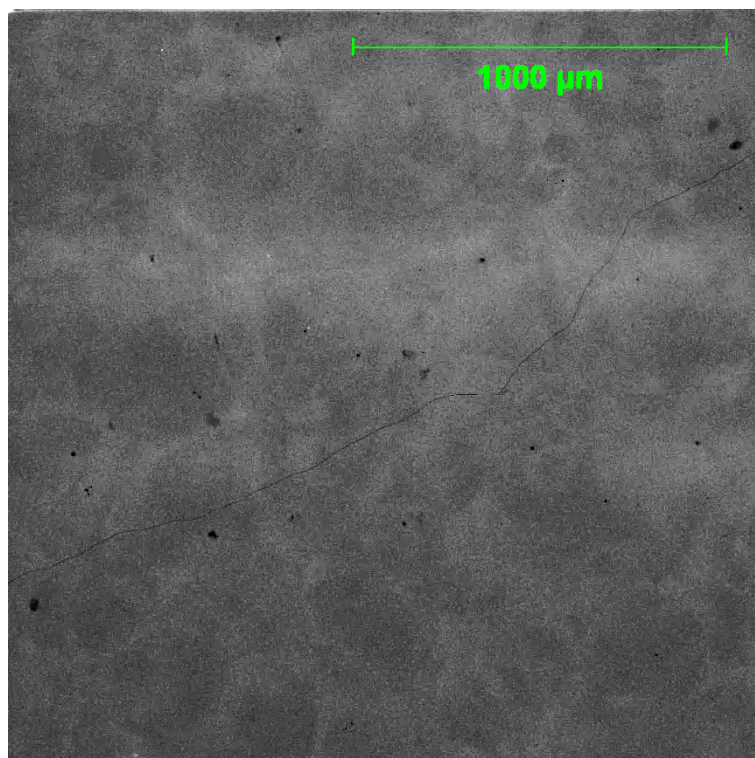
Obr. č. 6 – Souhrn výsledku měření granulometrie

PŘÍLOHA C

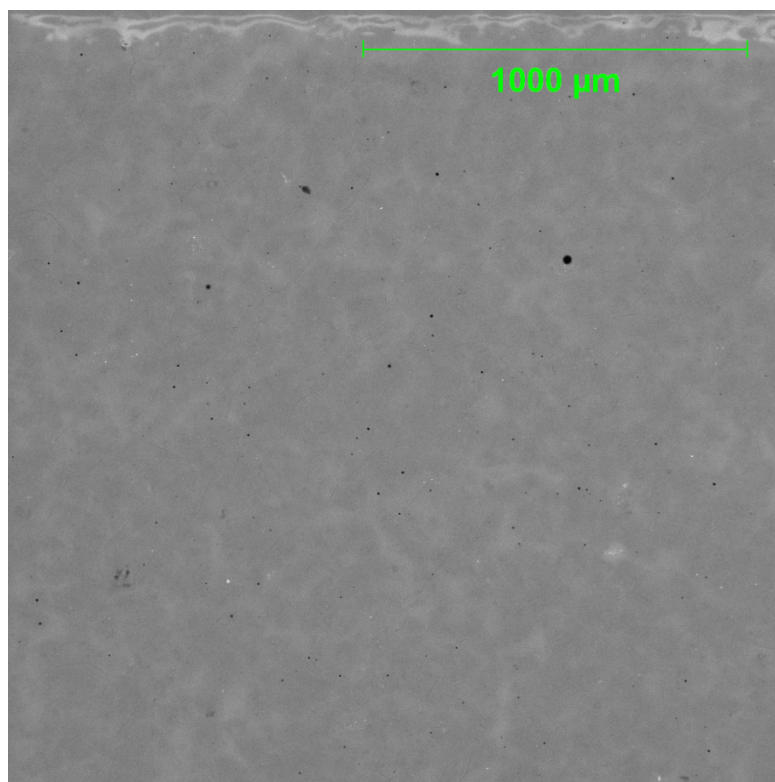
Před ponorem do fyziologického roztoku



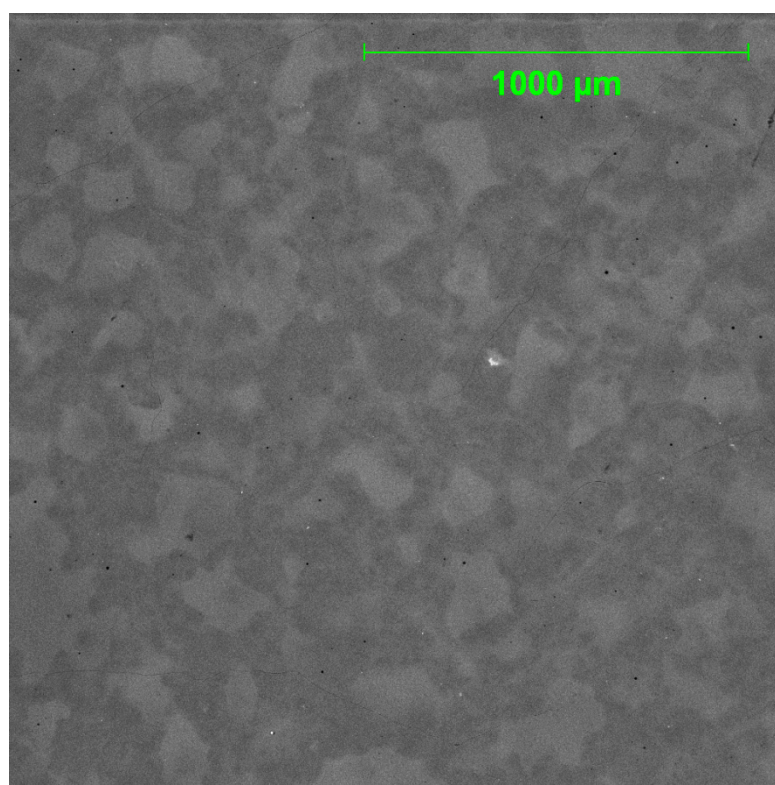
Obr. č. 1 – Detail základního smaltu + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V, zvětšeno 100x



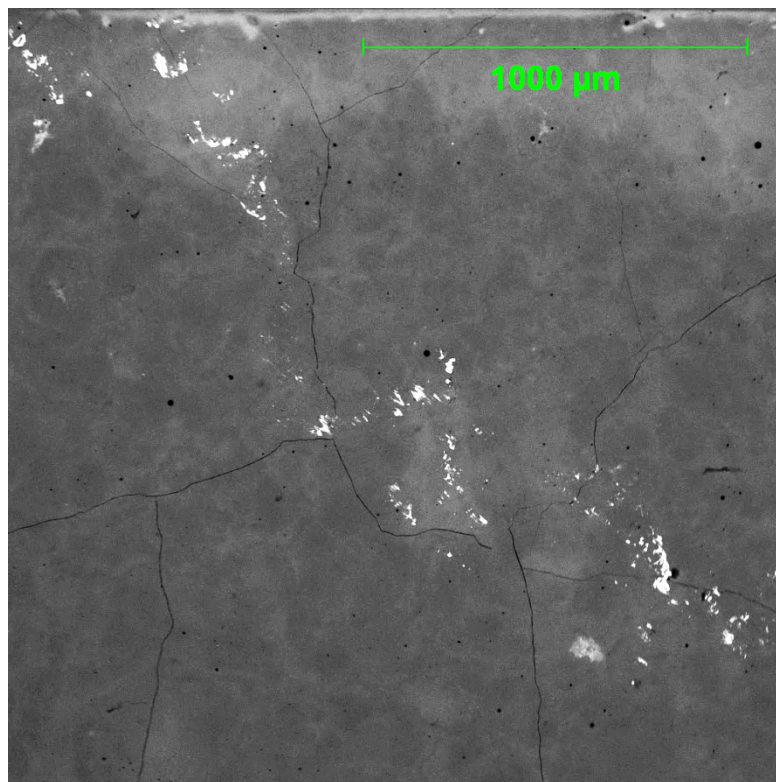
Obr. č. 2 – Detail základního smaltu + kaolín T4 na vzorku Ti, zvětšeno 100x



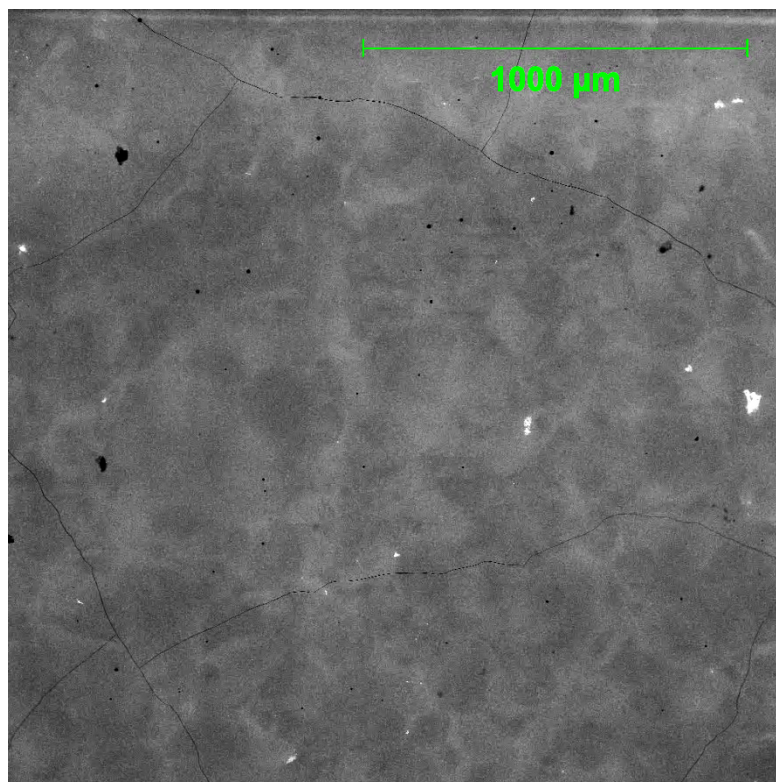
Obr. č. 3 – Detail základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti, zvětšeno 100x



Obr. č. 4 – Detail základního smaltu + kaolín T3 na vzorku Ti6Al4V, zvětšeno 100x

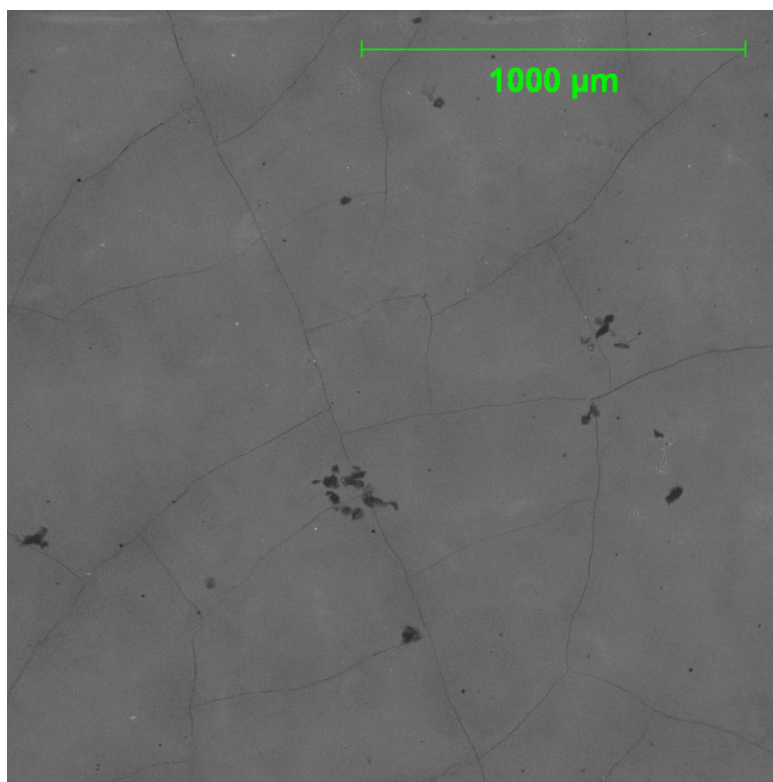


Obr. č. 5 – Detail základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti, zvětšeno 100x

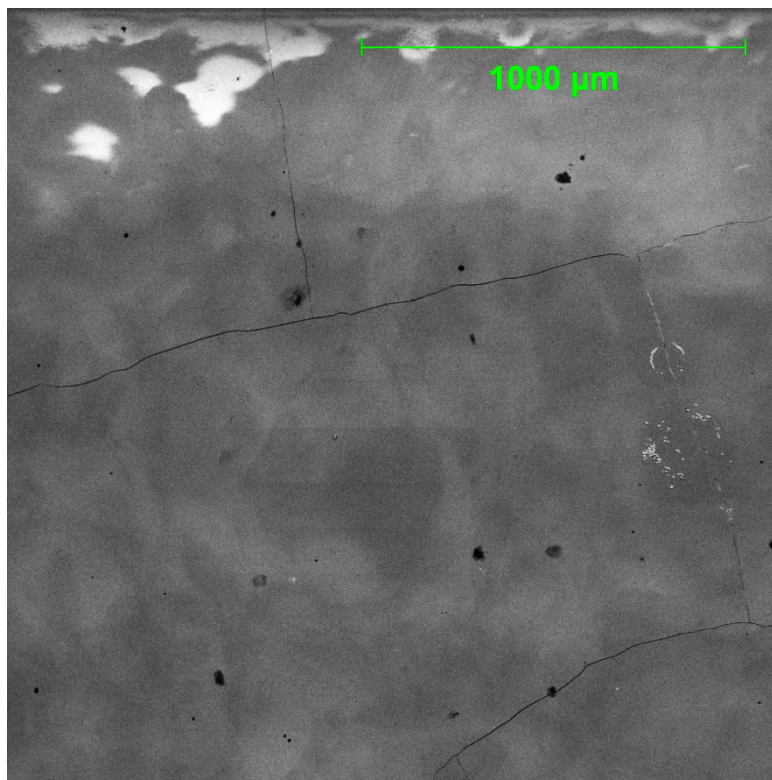


Obr. č. 6 – Detail základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V, zvětšeno 100x

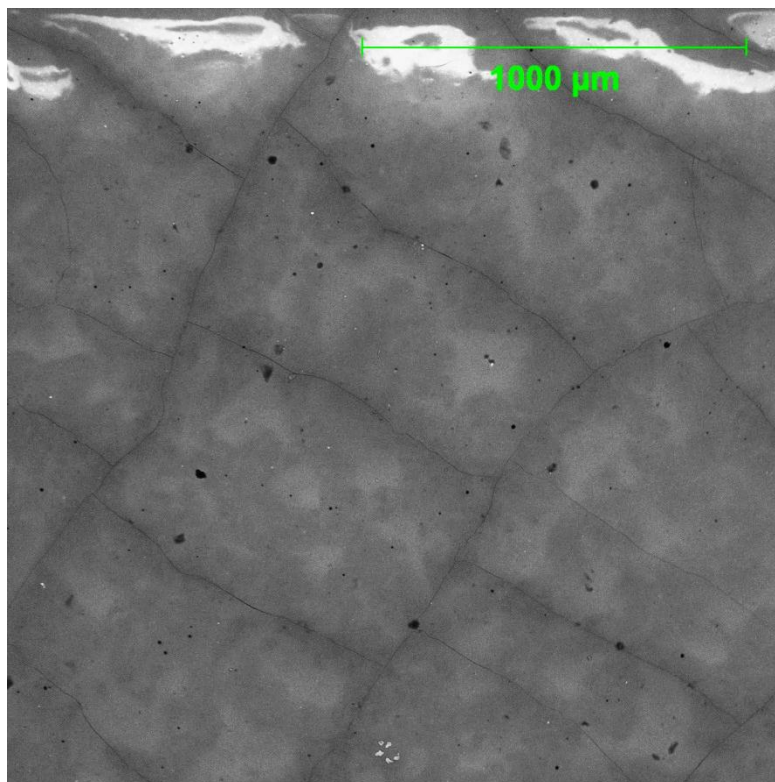
Po vytažení z fyziologického roztoku



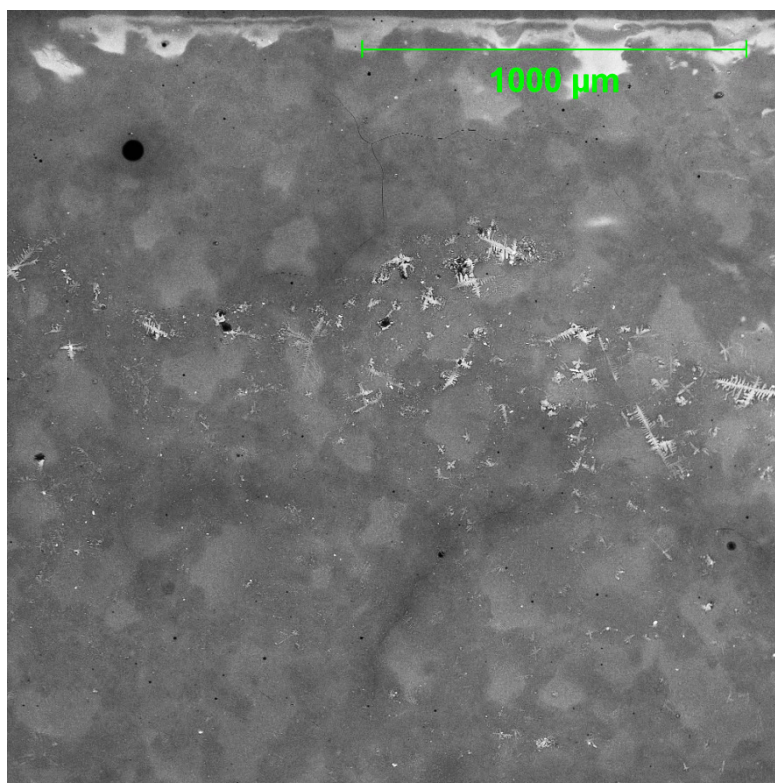
Obr. č. 7 – Detail základního smaltu + jemný jíl Fero na vzorku Ti6Al4V, zvětšeno 100x



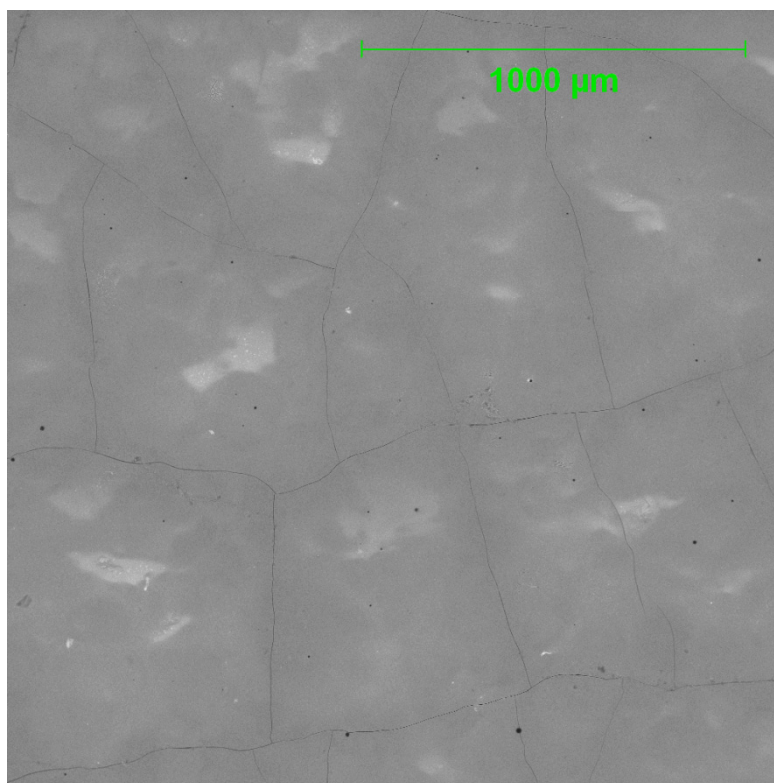
Obr. č. 8 – Detail základního smaltu + kaolín T4 na vzorku Ti, zvětšeno 100x



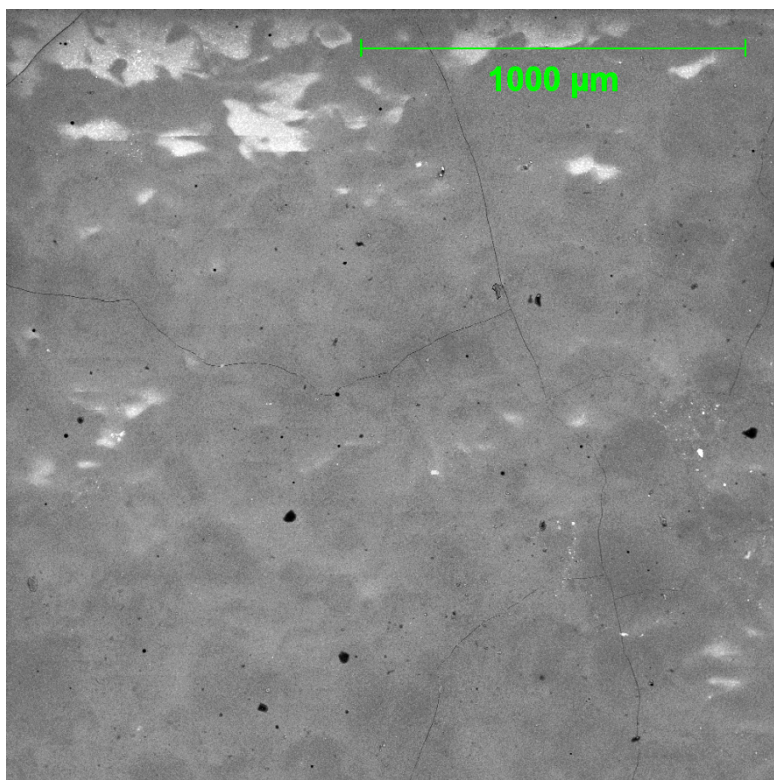
Obr. č. 9 – Detail základního smaltu + kaolin T3 na vzorku Ti, zvětšeno 100x



Obr. č. 10 – Detail základního smaltu + kaolin T3 na vzorku Ti6Al4V, zvětšeno 100x



Obr. č. 11 – Detail základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti, zvětšeno 100x



Obr. č. 12 – Detail základního smaltu + jemný jíl MiC na vzorku Ti6Al4V, zvětšeno 100x